

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Р. Г. МЕЛКОНЯН, С. Г. ВЛАСОВА

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕКЛОБОЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ
СТЕКЛА**

*Рекомендовано методическим советом УрФУ
в качестве **учебного пособия** для студентов,
обучающихся по направлению подготовки
240304 – Химическая технология тугоплавких,
неметаллических и силикатных материалов*

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2013

УДК 666.1(091)

ББК 35.41-01

М47

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. Л. Г. Протасова (зав. кафедрой управления качеством продукции и услуг УрГЭУ);

генеральный директор ООО «Центр художественных изделий из стекла Урал-Витраж» И. Г. Якушев

Научный редактор – д-р техн. наук, проф. Ю. Д. Кручинин

Мелконян, Р. Г.

М47 Экологические и экономические проблемы использования стеклобоя в производстве стекла : учебное пособие / Р. Г. Мелконян, С. Г. Власова. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 100 с.
ISBN 978-5-7996-0935-1

В пособии представлены направления и существующие способы утилизации отходов стекла. Показаны методы обработки, очистки, сортировки и подготовки стеклобоя, а также освещены вопросы использования отходов стекла в различных отраслях стекольной промышленности.

Описаны материалы по утилизации отходов стекла на примере технологии производства стеклотарного завода ОАО «Красное Эхо» Владимирской области.

Рассмотрены экономические аспекты по проблеме утилизации отходов стекла.

Пособие предназначено для студентов специальности 240304 – Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов.

Библиогр.: 50 назв. Рис. 19. Табл. 14.

УДК 666.1(091)

ББК 35.41-01

ISBN 978-5-7996-0935-1

© Уральский федеральный
университет, 2013

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	6
1. НАПРАВЛЕНИЯ И СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ СТЕКЛА	8
1.1. Сбор и предварительная обработка отходов стекла.....	8
1.2. Методы обработки, очистки, сортировки и подготовки стеклобоя	12
1.3. Дополнительная обработка и сортировка отходов стекла	14
1.4. Использование отходов стекла в стекольной промышленности	19
<i>1.4.1. Использование стеклобоя при варке стекла</i>	<i>19</i>
<i>1.4.2. Использование отходов стекла в производстве стекловолокна.....</i>	<i>20</i>
<i>1.4.3. Использование отходов стекла для изготовления</i> <i> стеклянных шариков.....</i>	<i>21</i>
1.5. Использование отходов стекла в производстве изоляционных и строительных материалов.....	23
<i>1.5.1. Использование отходов стекла для изготовления</i> <i> декоративно-облицовочных плиток</i>	<i>23</i>
<i>1.5.2. Применение отходов стекла для изготовления строительных</i> <i> и облицовочных кирпичей</i>	<i>25</i>
<i>1.5.3. Применение отходов стекла для приготовления бетона</i> <i> и изделий из него</i>	<i>28</i>
<i>1.5.4. Использование отходов стекла для изготовления пеностекла.....</i>	<i>31</i>
<i>1.5.5. Использование стеклобоя и аморфных силикатов для получения</i> <i> пеностекла и силикатных пеноматериалов.....</i>	<i>33</i>
1.6. Использование отходов стекла в дорожных покрытиях	40
1.7. Другие области применения отходов стекла	42
Выводы	43

2. УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ СТЕКЛА НА ПРИМЕРЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛОТАРНОГО ЗАВОДА ОАО «КРАСНОЕ ЭХО» ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ	44
2.1. Сырьевые материалы для производства стекла	44
2.1.1. Главные сырьевые материалы	44
2.1.2. Вспомогательные сырьевые материалы	49
2.2. Краткая характеристика стеклотарного завода ОАО «Красное Эхо»	51
2.3. Технологические процессы стеклотарного производства и источники воздействия на окружающую среду.....	52
2.3.1. Стадия обработки и подготовки сырьевых материалов	54
2.3.2. Стадия варки стекломассы	56
2.3.3. Вспомогательное производство	57
2.3.4. Водопотребление и водоотведение	60
2.4. Образование отходов в стекольном производстве	61
2.5. Специальные разработки для технологии утилизации стеклобоя и расчет оборудования.....	64
2.5.1. Расчет сырьевых материалов.....	64
2.5.2. Расчет расходных бункеров	65
2.5.3. Дробильное оборудование	66
2.5.4. Характеристика ленточного конвейера (транспортера)	67
2.5.5. Расчет пневмотранспортных установок	67
2.5.6. Выбор сушильного оборудования	69
2.5.7. Выбор смесителя	71
2.5.8. Стекловаренная печь для варки стеклобоя	71
2.5.9. Расчет расхода тепла, необходимого для процесса стекловарения ..	74

2.5.10. Техничко-экономический расчет работы традиционной и прямоточной печей	79
2.5.11. Дополнительные технологические мероприятия по сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу	80
Выводы	82
3. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ.....	83
3.1. Модернизация производства стеклотары	83
3.1.1. Калькуляция затрат	83
3.1.2. Расчет платежей за загрязнение атмосферного воздуха	84
3.1.3. Годовой экономический эффект проекта	86
Выводы	86
3.2. Экономический расчет процесса получения гранулированного пеностекла из отходов жидкого стекла и стеклобоя	86
3.2.1. Методика расчета экономического эффекта	87
3.2.2. Экономический эффект относительно традиционного метода получения пеностекла	88
Выводы	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	93
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	94
ГЛОССАРИЙ	99

ВВЕДЕНИЕ

В основных направлениях экономического и социального развития страны на период до 2020 года указано на необходимость продолжить работу по более широкому вовлечению в хозяйственный оборот вторичных материальных и топливно-энергетических ресурсов, бытовых отходов, а также попутных продуктов. Необходимо также развивать материально-техническую базу организаций, занятых заготовкой и переработкой вторичного сырья.

Экономическая и экологическая целесообразность утилизации стеклобоя в последние годы доказана практикой его использования как в нашей стране, так и в зарубежной практике. Так, исследования специалистов стран ЕЭС показали, что каждая тонна использованного стеклобоя позволяет экономить 1,2 т первичного сырья, а увеличение количества стеклобоя в шихте на каждые 10 % экономит 2 % энергии. В промышленно-развитых странах большое внимание уделяется вопросам заготовки и использования стеклобоя.

Принятые законодательные меры должны способствовать тому, что стекольная промышленность страны обязана стать организатором и непосредственным участником сбора и переработки отходов стекла, как это делается за рубежом, в частности в Швейцарии, Германии и др. Другим фактором, стимулирующим участие стекольной промышленности в заготовке и использовании стеклобоя, должна являться экономия энергии и первичного сырья. К примеру, наилучшие результаты по заготовке стеклобоя достигнуты именно в Швейцарии и Германии, где на душу населения заготавливается 11,5 и 9,0 кг соответственно.

Рост уровня использования стеклобоя должен обуславливаться созданием эффективных систем его сбора от населения. Большое внимание должно также уделяться выделению стеклобоя из бытовых отходов, так как процент попадания его в бытовые отходы значителен.

Эффективному использованию стеклобоя может способствовать организация специализированных предприятий по его обработке, на которых будет осуществляться его измельчение, очистка и сортировка. Необходимо также развивать рациональные направления использования стеклобоя, позволяющие экономить первичное сырье. В настоящем учебном пособии представлены различные направления и способы утилизации отходов стекла, а также выполнены экономические расчеты при их реализации.

1. НАПРАВЛЕНИЯ И СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ СТЕКЛА

1.1. Сбор и предварительная обработка отходов стекла

Сбор, транспортировка и особенно сортировка отходов стекла являются дорогостоящими статьями утилизации отходов. Уровнем этих затрат в значительной степени определяется экономическая целесообразность вторичного использования стеклобоя.

В связи с этим необходимо придавать большое значение вопросам совершенствования методов сбора и сортировки отходов стекла. Основной сложностью является заготовка стеклобоя из отходов потребления, процентное содержание которого в отходах составляет от 5 до 15 %.

В настоящее время существует два метода заготовки отходов стекла:

- *селективная заготовка*, предусматривающая сбор и сортировку отходов на месте их образования;
- *централизованная заготовка*, предусматривающая выделение стекла из смешанных отходов на специализированных предприятиях.

Во многих промышленно развитых странах с начала 70-х годов XX в. велась работа по созданию системы селективной заготовки отходов стекла. Для сбора стеклобоя и стеклотары устанавливали контейнеры в специально отведенных для этого местах. Использовались и контейнеры специальной конструкции, например с тремя отсеками для стеклобоя разного цвета. Устанавливались и три отдельных контейнера, окрашенные в разные цвета, для сбора стеклобоя определенного цвета.

Инициаторами селективной заготовки стеклобоя, как правило, являются фирмы – производители стекла. В частности, эксперименты по селективной заготовке стеклобоя были проведены в Японии – в г. Нимацу, расположенном на острове Хонсю. Для этой цели было выделено около 500 площадок, куда раз в месяц население приносило стеклотару и консервные банки. Бутылки для повторного использования собирали в пластмассовые корзины, а стекломой в

19-литровые контейнеры. Успех такой системы заготовки объясняется прежде всего активностью населения. По мнению специалистов, такая система может иметь успех в городах с небольшой численностью населения.

Большое внимание уделяется внешнему оформлению контейнера. В частности, во Франции Национальное агентство по восстановлению и ликвидации отходов (ANRED) объявило конкурс на модели контейнеров вместимостью 5–10; 2,5–4,0 и 1,0–1,5 м³. В соответствии с условиями конкурса контейнеры должны быть не только дешевыми и удобными в эксплуатации, но и отвечать определенным эстетическим требованиям.

Для сбора стеклотары на различных предприятиях фирма «United Glass Containers Ltd» (Великобритания) разработала конструкцию дешевого и простого в эксплуатации контейнера «Пагбин» (см. рис. 1.1, а), который легко устанавливается на поддон, снимается и разбирается.

На рис. 1.1 представлены некоторые модели контейнеров, получившие премии. Один из них изготовлен из листового окрашенного железа (рис. 1.1, б), перемещают его при помощи верхнего крюка, разгрузка производится через люк, находящийся в нижней части контейнера. Второй контейнер изготовлен из алюминия, а цоколь его — из оцинкованного листового железа (рис. 1.1, в). Для перемещения используется вакуумный захват, содержимое выгружается через автоматически открывающийся люк, снабженный щупами. Контейнер, изображенный на рис. 1.1, г, также изготовлен из листового оцинкованного железа. Переноска осуществляется с помощью верхнего крюка, разгрузка — через нижний люк.

Для перевозки стеклобоя австрийская фирма «Mit» создала специальную конструкцию автомобиля, имеющего две камеры для одновременной транспортировки прозрачного и цветного стеклобоя. На машину устанавливаются перегрузочные (сменные) контейнеры из оцинкованной стали вместимостью 11 м³. Проведенные в Вене испытания этого автомобиля показали, что время погрузки контейнеров сокращается в 3 раза, это огромная

экономия времени при учете числа площадок с контейнерами. Машину обслуживает один шофер и два грузчика.

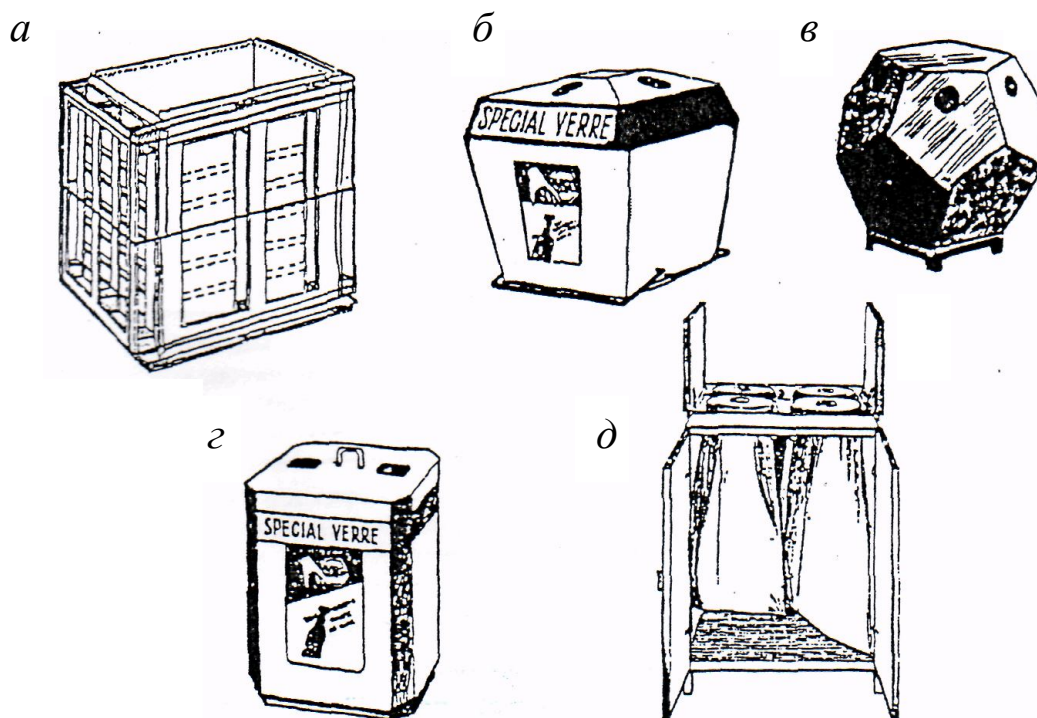


Рис. 1.1. Различные формы контейнеров, распространенные за рубежом:

а) контейнер «Pagbin» (Великобритания); б) распространенные во Франции контейнеры вместимостью 3 м³; в) используемый муниципальными службами 12-гранный контейнер вместимостью 1,5 м³ (Франция); г) контейнеры такой формы, распространенные во Франции, и могут иметь различный объем – 2,1; 3,5; 7 и 10 м³; д) сборник для отходов различного вида, устанавливаемый в кухонных помещениях (Великобритания); е) сборник в кухонных помещениях

Наряду с контейнерным способом сбора стеклобоя в некоторых странах получила распространение поквартирная его заготовка. Эту новую систему сбора стеклобоя и других отходов предложили специалисты Уэльской архитектурной школы в Великобритании. Система предусматривает установку в кухонных помещениях сборника (рис. 1.1, д), выполненного по типу стандартной секционной кухонной мебели. Он имеет четыре пластмассовых мешка: для бумаги, стекла, металлов и остальных отходов. Основная трудность, по мнению специалистов, связана с необходимостью увеличения площади кухни, что возможно только при строительстве новых зданий.

Поквартирный сбор стеклотары проводится также в Австралии под руководством муниципального совета г. Сиднея при участии фирмы «AQI Ltd». Жителей района, участвующих в сборе стеклотары, оповещают рекламным листком и письмами с указанием даты сбора. Селективно заготовленный стеклобой перед использованием в производстве подвергается предварительной обработке, включающей его измельчение, очистку и сортировку. Направления использования стеклобоя показаны на рис. 1.2.

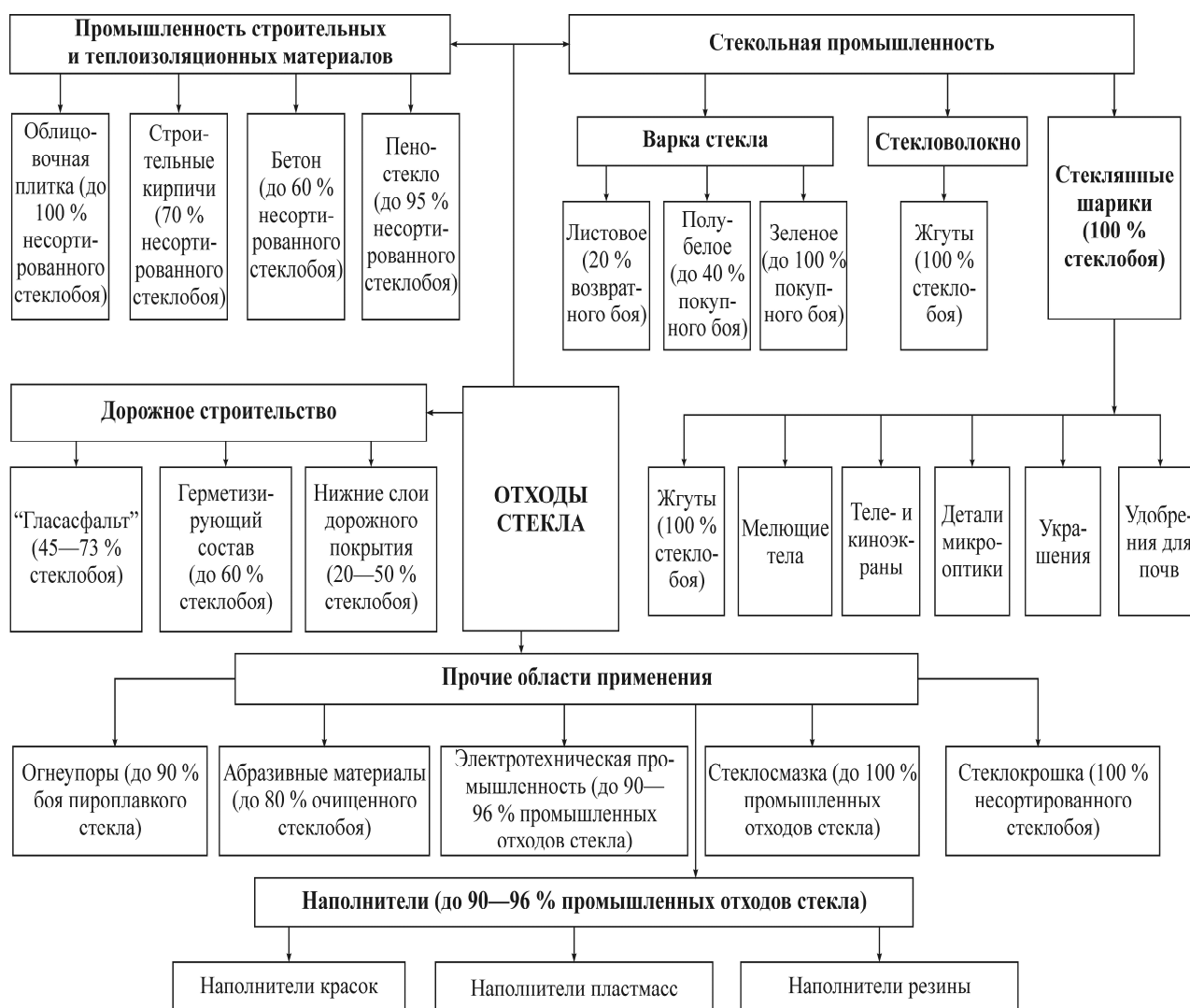


Рис. 1.2. Направления использования стеклобоя

Все возрастающая потребность в сырье и развитие селективной заготовки стеклобоя обусловили необходимость строительства специализированных предприятий по его обработке. Однако отсутствие отечественного оборудования для механизированной очистки стеклобоя от посторонних примесей и грязи, а также для разделения его по цветам практически исключает использование стеклобоя. Смешанный же стеклобой для изготовления светлой стеклотары и многих других изделий не подходит из-за различного химического состава.

Как в России, так и за рубежом ведется поиск новых областей применения стеклобоя, изучается также возможность использования отходов специальных видов стекол.

1.2. Методы обработки, очистки, сортировки и подготовки стеклобоя

В России обработка, очистка и сортировка отходов стекла осуществляется по следующей технологии: поступающий на завод загрязненный стеклобой выгружается из железнодорожных вагонов грейферным краном, складировается вдоль железнодорожных путей. По мере необходимости загружается в бункер. Из бункера качающимся питателем стеклобой подается на ленточный транспортер, смонтированный в специальной галерее. В приводном барабане этого транспортера электромагнитом отделяются металлические включения, содержащиеся в стеклобое, которые ссыпаются в бункер для отходов. Бункер расположен под приводом транспортера и по мере заполнения содержимое выгружается в автомашины и вывозится (см. рис. 1.3).

Стеклобой, освобожденный от металлических включений, поступает на транспортер и загружается в моечный барабан. Вращение барабана осуществляется с помощью приводных катков через закрепленные на нем обрешеченные бандажы, что позволяет значительно снизить шум в рабочем помещении.

Внутри барабана расположены винтовые лопасти, обеспечивающие передвижение стеклобоя. Барабан заканчивается грохотом (для отходов) конической формы с отверстиями меньшего диаметра, чем в ранее применявшемся грохоте. В результате потери стекла на данном участке производства снижены. Из грохота мокрые отходы поступают на элеватор с помощью скребкового транспортера, затем загружаются в бункер и вывозятся автотранспортом в отвалы. Для окончательной очистки промытый стеклобой поступает из моечного барабана на горизонтальный конвейер с шириной ленты 800 мм, где бой сортируется вручную.

Деревянная эстакада вокруг транспортера установлена на высоте, удобной для работы сортировщиц. Отобранные из стеклобоя включения сбрасываются в специальные точки, расположенные вдоль ленты транспортера по обеим его сторонам, и с помощью конвейера и скребкового транспортера грузятся на автотранспорт и вывозятся в отвалы.

Отсортированный стеклобой поступает с транспортера сортировки в приемок элеватора, а затем в бункер хранения, из которого по мере необходимости подвозится автотранспортом к стекловаренным печам.

В результате усовершенствования системы обработки стеклобоя полностью ликвидирован ручной труд за исключением операции окончательной сортировки стеклобоя.

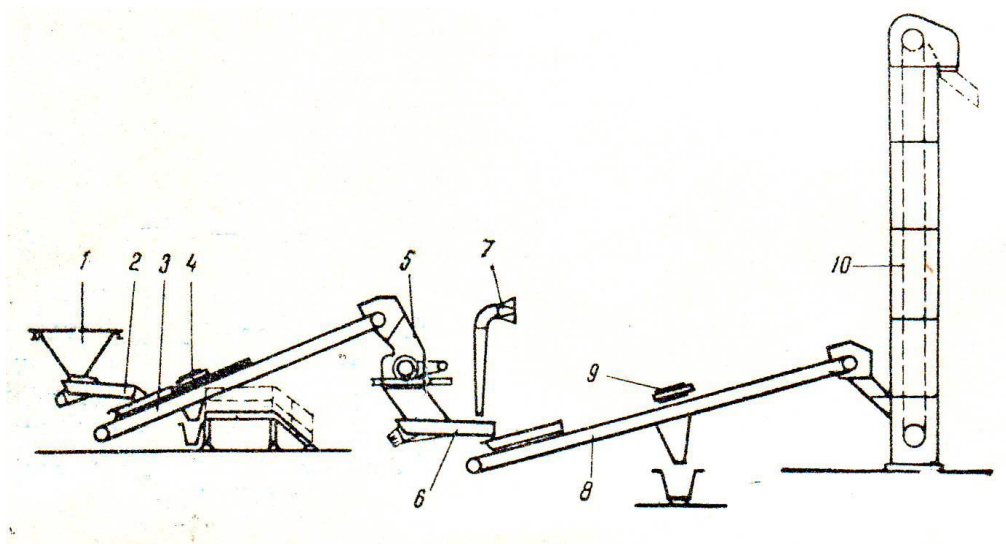


Рис. 1.3. Технологический процесс обработки стеклобоя:

1 – бункер; 2, 6 – виброконтейнер; 3, 8 – ленточный транспортер; 4, 9 – магнитный сепаратор; 5 – дробилка молоткового типа; 7 – всасывающая установка, предназначенная для автоматического удаления оставшихся материалов, не содержащих железо; 10 – черпаковый подъемник

1.3. Дополнительная обработка и сортировка отходов стекла

Предварительно обработанный стеклобой, полученный методом селективной заготовки или выделенный из бытовых отходов, может быть подвергнут дополнительной обработке с целью удаления из него алюминиевых, керамических и других включений, а также сортировке по цвету.

Такая дополнительная обработка и сортировка стеклобоя позволяет повысить качество продукции, изготавливаемой с его использованием, и расширить область применения стеклобоя.

Ведущее место в данной области техники занимает фирма «Sortex Company of North America» (США), которой разработаны и запатентованы следующие установки:

- электростатический сепаратор;
- установка для сортировки стеклобоя по прозрачности;
- фотометрическая установка для сортировки стеклобоя по цвету.

Электростатический сепаратор предназначен для удаления из стеклобоя алюминиевых включений. Принцип его действия основан на методе электростатического осаждения частиц обрабатываемого материала на поверхности медленно вращающегося заземленного барабана.

Частицы алюминия, имеющие пластинчатую форму, плохо отделяются от частиц стекла, в том числе на стадии сортировки стеклобоя по прозрачности. Известные в области обогащения горнорудных материалов методы электростатической сортировки не позволяют разделять частицы крупнее 1 мм.

В результате проведенных фирмой исследований было установлено, что благодаря пластинчатой форме алюминиевых включений электростатической сепарации могут быть подвергнуты частицы размером до 20 мм.

Отличительная особенность патентуемого устройства состоит в том, что над поверхностью заземленного барабана 2 (см. рис. 1.4), вращающегося со скоростью 10 об/мин, под острым углом к его горизонтальной оси установлены электроды 5 и 6, создающие сильный, сконцентрированный в узкую дугу разряд и электростатическое поле высокой напряженности (напряжение на электродах –20–30 кВ). Стеклобой, содержащий примеси алюминия, из бункера 1 поступает на поверхность барабана 2.

Частицы, попадая в зону электродов, подвергаются воздействию электрического заряда. При этом менее электропроводные частицы стекла прилипают к поверхности барабана 2, отрываясь от него в зоне расположения бункера 3, а более электропроводные частицы металла, разряжаясь на заземленный барабан, попадают в бункер 4.

Процесс сортировки с использованием данного устройства обеспечивает удаление из стеклобоя примерно 70 % имеющихся металлических частиц. Установка для сортировки стеклобоя по прозрачности предназначена для удаления из него частиц керамики, камней и тому подобных материалов.

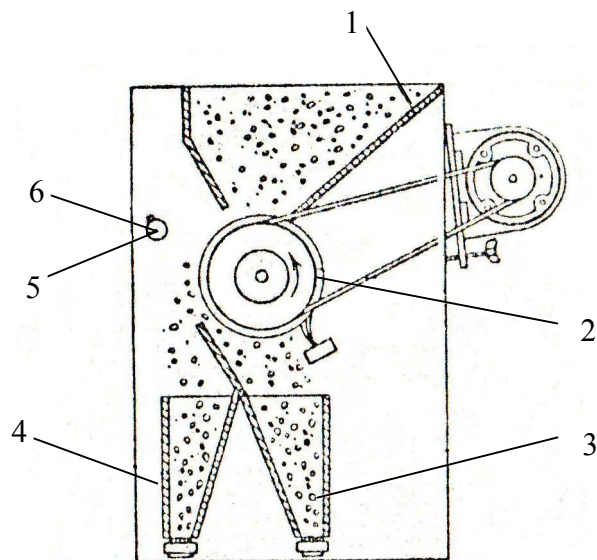


Рис. 1.4. Электростатический сепаратор

Она представляет собой камеру, в которой в затемненной коробке с щелью размещен источник света, например флуоресцентная труба. Свет от источника, проходящий через щель, фокусируется линзой на светочувствительных элементах, в качестве которых могут быть использованы фотодиоды, регистрирующие интенсивность светового потока. Система фотодиодов обеспечивает высокую разрешающую способность в плоскости щели.

При прохождении частицы между источником света и фотодиодами ослабляется световой поток, попадающий на фотодиоды. В зависимости от степени ослабления, регистрируемой соответствующими автоматическими датчиками и приборами, производится сортировка частиц по прозрачности. Фотометрическая установка для сортировки стеклобоя по цвету получила наибольшую известность.

Частицы стекла из бункера по желобу поступают на транспортер и под действием собственного веса падают в фотометрические камеры, в каждой из которых в центре размещена лампа, а по периферии – несколько фотоэлементов. Против фотоэлементов установлены экраны. Каждый фотоэлемент снабжен системой линз, улавливающих отраженный от частиц

стекла свет, и электрически связан токопроводами с пультом управления, который в свою очередь соединен токопроводами с воздушными клапанами.

Свет, отраженный от частицы, воздействует на фотоэлемент, а возникающий сигнал, определяемый оптическими свойствами частицы стекла, передается на пульт управления. Если величина сигнала ниже заданного значения, то подается команда на открывание клапана, который подает воздух в сопло. Воздушная струя воздействует на траекторию движения частицы, отклоняя ее. Таким образом, частицы бесцветного и цветного стекла собираются по разные стороны от перегородки.

На рис. 1.5 представлена блок-схема, иллюстрирующая потоки стеклобоя, выделенного из бытовых отходов, процесс его сортировки по прозрачности и цвету и получаемые при этом продукты.

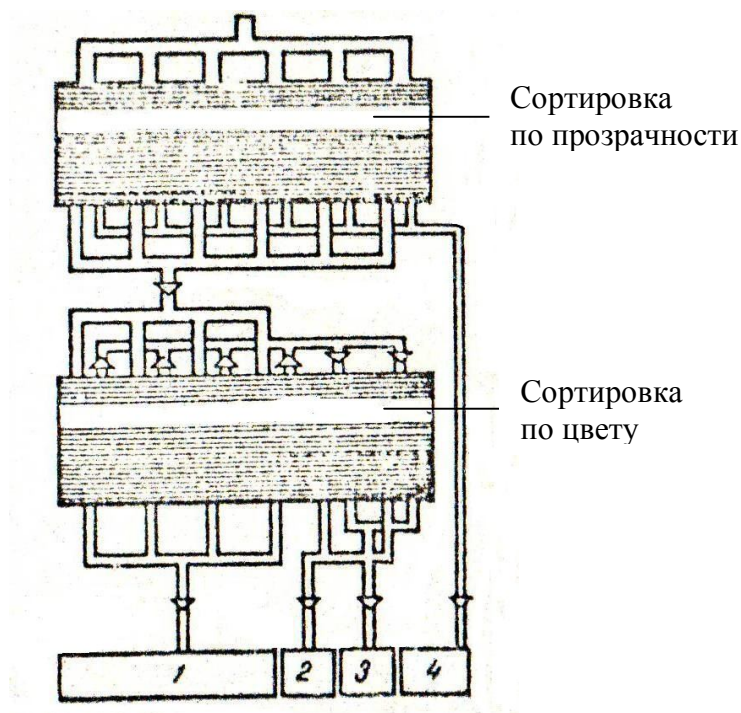


Рис. 1.5. Сортировка стеклобоя по прозрачности и цвету фирмы «Sortex»:

1 – прозрачное стекло (55 %); 2 – желтое стекло (13 %); 3 – зеленое стекло (14 %);
4 – захоронение

Следует отметить, что широкое применение установок для сортировки стеклобоя фирмы «Sortex» сдерживается их относительно низкой производительностью и высокими капитальными затратами.

Более производительный процесс сортировки стекла по цвету, основанный на другом принципе, был предложен фирмой «Occidental Petroleum Corp.» (США). Способ основан на использовании различных магнитных свойств зеленого (парамагнитные), янтарного (нейтральные) и бесцветного (диамагнитные) стекла при воздействии на него сильного магнитного поля, имеющего градиент в направлении, перпендикулярном направлению движения стекла.

Измельченное стекло подается в наклонный лоток, совершающий продольное колебание, под действием которых частицы движутся вниз вдоль лотка. Лоток находится между полюсами магнита, которые у одного края лотка расположены ближе друг другу, чем у другого, создавая градиент напряженности поля. Лоток наклонен под углом $6-20^\circ$ в сторону зоны более сильного магнитного поля.

При совместном воздействии магнитных и гравитационных сил парамагнитные и нейтральные частицы зеленого и янтарного стекла движутся к нижнему продольному краю лотка. При этом зеленые частицы устремляются в зону с большей напряженностью магнитного поля, а янтарные – перемещаются вдоль лотка под действием гравитационных сил. Диамагнитные бесцветные частицы движутся в зону меньшей напряженности магнитного поля к верхнему продольному краю лотка. Разделительная стенка у нижнего конца лотка позволяет отбирать с одной ее стороны бесцветное стекло, а с другой – смесь янтарного и зеленого. Если лоток наклонен вдоль продольной оси в противоположную сторону, то можно отделять смесь бесцветного и янтарного стекла от зеленого.

1.4. Использование отходов стекла в стекольной промышленности

1.4.1. Использование стеклобоя при варке стекла

Традиционным направлением применения отходов стекла является добавление его в шихту стекловаренных печей. Вводимый в шихту стеклобой должен быть отсортирован от посторонних примесей, промыт, высушен и рассортирован по цвету с целью соответствия его химического состава составу изготавливаемого стекла. Допускается отличие только количественного соотношения их компонентов.

Количество вводимого боя при этом следует рассчитывать так, чтобы его содержание в шихте было постоянным. При введении боя большое значение имеют степень измельчения и способ его введения и перемешивания с шихтой.

Процент использования стеклобоя лимитируется цветом изготавливаемого стекла и видом выпускаемых изделий. Так, при изготовлении темно-зеленых бутылок используется от 2,8 до 38,1 % покупного стеклобоя, при изготовлении полубелых бутылок – от 2,1 до 40,8 % и при изготовлении консервной тары – от 4,7 до 25 %. На заводах листового стекла, сортовой посуды и обесцвеченной стеклотары стеклобой не применяется. Установлено, что при варке стекла возможно использование до 87 % стеклобоя и более.

Работы по изучению возможности увеличения содержания стеклобоя в шихте стекловаренных печей ведутся в направлениях определения оптимального размера частиц стеклобоя, времени и места его загрузки, а также изучения влияния содержания стеклобоя на физико-химические свойства продукции и определения его оптимального содержания в шихте.

Представляет интерес опыт использования стеклобоя на Коркинском стекольном заводе, который начиная с 1944 г. для производства стеклотары использует только стеклобой.

Для поддержания однородности и постоянства химического состава на заводе опытным путем установлена следующая пропорциональность смешивания стеклобоя: темно-зеленого бутылочного – 60–70 %, светлого бутылочного – 20–30 %, возвратного – 10 %.

Обработка стеклобоя на заводе заключается в просеве, промывке и ручной сортировке на транспорте. На 1 т готовой продукции расходуется 1,736 кг стеклобоя и 0,085 кг кальцинированной соды. Другие материалы не применяются. Коэффициент использования стекломассы – 0,66–0,68.

Таким образом, многолетняя заводская практика подтверждает возможность варки стекла только из стеклобоя. Однако необходимость дорогостоящей очистки и сортировки стеклобоя по цвету при его использовании в шихте стекловаренных заводов является одной из причин того, что во многих странах ведутся поиски новых направлений использования стеклобоя, не требующих сортировки по цвету, а часто и его очистки.

1.4.2. Использование отходов стекла в производстве стекловолокна

Основными видами изделий, вырабатываемых в настоящее время, являются теплозвукоизоляционные маты и плиты, стеклохолст различного назначения, стеклянные сепараторы для аккумуляторных батарей, фильтры для очистки воздуха, промышленных газов и т. д.

Все больше используется в нашей стране и за рубежом холст из стеклянного штапельного волокна. Он применяется для армирования битумных гидроизоляционных покрытий стальных подземных газо- и нефтепроводов; для изготовления стеклорубероида, срок службы которого в 2–3 раза выше обычного; для наружного покрытия теплоизоляции горячих трубопроводов; в качестве фильтрующего материала при выполнении мелиоративных работ; для выработки некоторых видов стеклопластиков и других целей.

Для производства стекловолокна требуется высококачественное сырье и используется сложное оборудование. Однако в последнее время были разработаны технологические процессы получения стекловолокна из отходов стекла, что позволяет снизить его себестоимость и повысить выпуск.

Первоначально, перед подачей в рабочий бункер, стекломой дробился до крупности 30–50 мм. Впоследствии из-за быстрого износа деталей дробилки бой стал употребляться без предварительного дробления. Следует отметить, что скорость провара и однородность стекломассы при употреблении дробленого боя выше, чем при употреблении недробленого.

1.4.3. Использование отходов стекла для изготовления стеклянных шариков

Одним из направлений использования отходов стекла является изготовление стеклянных шариков, которые могут быть применены для изготовления украшений (бисер, бусы), телеэкранов и стереоскопических киноэкранов, дорожных знаков и реклам, для декоративной росписи, изготовления деталей микрооптики, в качестве наполнителей для пластмасс, в химической и машиностроительной промышленности, в качестве мелющих тел, насадок теплообменных и реакционных аппаратов и т. д.

Существует несколько способов изготовления стеклянных шариков из стекломой. В России разработаны технологии и оборудование для изготовления шариков. Стеклянные частицы смешивают с 3–7 % сепараторного порошка (например, сажи) и увлажняют для лучшего прилипания сажи к поверхности стекла. Смесь подается в формующее устройство, снабженное электронагревателем. Частицы стекла, размягченные при 900° С, под действием сил поверхностного натяжения принимают форму шариков, причем деформация шариков под действием силы тяжести предотвращается благодаря непрерывному их пересыпанию. Затем шарики охлаждаются. Сепараторный

порошок отделяется и собирается, а стеклянные шарики могут быть подвергнуты дополнительной очистке от остатков сепараторного порошка и огневой полировке.

Существует также способ изготовления стеклянных шариков оплавлением стеклобоя в диспергирующей среде, где из отходов стекла изготавливаются стеклянные шарики диаметром от 0,2 до 4 мм для лакокрасочных предприятий, применяющих бисерные мельницы (краскотерки).

Измельченная в стержневой мельнице стеклянная крошка отсеивается от пыли и облоя на вибросите и смешивается в смесительном барабане с белой сажой (0,06 кг сажи на 1 кг стеклянной крошки). Оплавление производится во вращающейся электрической печи при температуре 910–920 °С.

Нельзя не отметить одно из направлений, которое было запатентовано относительно недавно, в 1998 г., академиком Российской академии естественных наук, Российской академии инженерных наук, доктором химических наук, профессором Санкт-Петербургского государственного технического университета, лауреатом премии имени А. Чижевского, лауреатом Государственной премии СССР Г. С. Карапетяном. Это направление представляет собой использование отходов стекла для изготовления удобрений, которые производит Маловишерский стекольный завод.

На вид стеклянные удобрения ничего особенного не представляют: обыкновенные мутновато-синие стекловидные камешки. Тем не менее нигде в мире это удобрение аналогов не имеет.

Несмотря на то, что промышленность только начинает осваивать производство нового вида удобрения (в настоящее время проектируется новая специальная печь), продукцией заинтересовались потребители ближнего и дальнего зарубежья.

1.5. Использование отходов стекла в производстве изоляционных и строительных материалов

1.5.1. Использование отходов стекла для изготовления декоративно-облицовочных плиток

Для отделки наружных стен зданий, для художественного оформления вестибюлей, ванных комнат и других помещений все большее применение находят облицовочные плитки, изготовленные с использованием стеклобоя.

Среди облицовочных плиток особое место занимает стеклокерамическая плитка, которая отличается своей долговечностью, морозо- и атмосферостойкостью и способностью поддерживать нормальный микроклимат внутри зданий. Из нее можно набирать «ковры», придающие зданиям оригинальный вид. Плитка является дешевым облицовочным материалом, причем изготовление облицованных ею панелей может быть механизировано на всех стадиях производства.

При изготовлении облицовочных стеклокерамических плиток стеклобой обычно смешивают с глиной, с боем обожженного кирпича, с кварцевым песком, легкоплавким стеклом и другими видами промышленных и бытовых отходов.

Технология изготовления облицовочных плиток с применением стеклобоя включает следующие процессы: измельчение шихты, ее перемешивание, прессование и обжиг со спеканием.

Технология получения стеклокерамических плиток из смеси стеклобоя и глины состоит в том, что смесь промытого и высушенного стеклобоя с подсушенной глиной и другими компонентами измельчают в течение 8–10 ч в мельнице с неметаллической футеровкой, готовый пресс-порошок увлажняют до 6–8 % и выдерживают в течение двух-трех смен в бункере для усреднения.

Затем изделие формируют на коленно-рычажном прессе и обжигают в течение 20 мин в щелевой электропечи при температуре 850–920 °С. Готовые плитки наклеивают на бумажные «ковры».

В целях снижения себестоимости продукции предусмотрено использование разноцветных глин без применения специальных красителей. Например, кирпичные легкоплавкие глины придают плиткам ровный коричневый тон, густота которого зависит от количественного содержания глины в шихте. Увеличение содержания глины до 60 % изменяет цвет изделий от светло-коричневого до темно-коричневого. Использование беложгущихся тугоплавких глин позволяет получить плитки белого и светло-коричневого оттенков, а на их основе при добавлении минеральных красителей — плитки любого цвета.

Готовые плитки имеют высокую прочность и равномерную окраску, они выдерживают более 50 циклов замораживания и оттаивания без каких-либо признаков разрушения. Водопоглощение готовых плиток равно 2–4 %.

Данная технология отличается коротким производственным циклом. При этом площадь цеха в несколько раз меньше площади цехов, изготавливающих стеклоплитку, что является важнейшим технико-экономическим преимуществом.

Подробнее остановимся на технологии утилизации стеклобоя и других промышленных отходов в производстве декоративно-облицовочных плит, разработанной коллективом исследовательской лаборатории бывшего Ленинского стекольного завода под научным руководством доктора технических наук, профессора Р. Г. Мелконяна.

Эти материалы могут быть получены в огнеупорных формах из гранул или отходов стекла определенного химического состава в смеси с кварцевым песком (или другими наполнителями) и рядом других добавок методом кристаллизации огневой полировки. Лицевая (наружная) поверхность этих материалов полированная, имеет различные однотонные расцветки или

неповторяющиеся узоры, имитирующие природный камень. У тыльной стороны плит – шероховатая поверхность.

Декоративно-облицовочные плиты используются для наружной и внутренней облицовки стен, колонн, настила полов, оформления панно на фасадах и в интерьерах зданий.

1.5.2. Применение отходов стекла для изготовления строительных и облицовочных кирпичей

В последнее время в ряде промышленно развитых стран проводились исследования по использованию отходов стекла при изготовлении строительных и облицовочных кирпичей. При этом в состав смесей входили стеклобой, шлак, керамика, камень или бой обожженного кирпича; в качестве связки использовали пластичную глину, тонко измельченный стеклобой или жидкое стекло.

Металлургическая лаборатория в Таскалусе (шт. Алабама, США) провела исследования по применению стеклобоя, полученного после сжигания городских отходов, для изготовления строительных керамических изделий. Исследуемый материал состоял из цветного легкоплавкого стекла, фракциями менее 0,84 мм, а также из небольшого количества шлака, керамики и камня. В составе массы применялась пластичная глина.

Изделия из массы влажностью 5 % прессовались и обжигались при температуре 1000 °С. Предел прочности на сжатие готовых изделий составлял $6860 \cdot 10^4$ Па (700 кгс/см²) и более. Эксперименты показали, что содержание стекла в массе не должно превышать 70 %, так как при увеличении его количества осложняется формование.

На основании этих экспериментов было изготовлено 2000 полнотелых кирпичей из массы, содержащей 70 % стеклобоя (размер зерен 0,84 мм), около 30 % глины, добавки 1 % BaCO₃ (для устранения высолов) и 1 % лигносульфонатной связки (для повышения прочности сырца).

После увлажнения до 5 % масса перемешивалась в бетономешалке. Кирпичи прессовались при давлении $2401 \cdot 10^4$ Па (245 кгс/см²). Сырец сушился в течение 15 ч при температуре 100 °С и обжигался в течение 24 ч при температуре 950 °С в газовой челночной печи [2].

Полученные кирпичи обнаружили более высокие качества по сравнению с требованиями Американского общества по испытанию материалов (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Сравнительная характеристика физико-механических свойств кирпичей

Показатели	Кирпичи	
	из массы с добавкой 70 %	соответствующие стандарту Американского общества по испытанию материалов
Водопоглощение, %	9,8	17,0
Коэффициент насыщения*	0,76	0,78
Предел прочности при сжатии, Па (кгс/см ²)	$5635 \cdot 10^4$ (575)	$2058 \cdot 10^4$ (210)

*Примечание:** Коэффициент насыщения равен отношению водопоглощения в нормальных условиях к водопоглощению при кипячении.

Благодаря высокой устойчивости к климатическим воздействиям, кирпичи, изготовленные из смеси и глины, могут быть использованы для отделки фасадов зданий.

Из приведенных в табл. 1.1 данных видно, что предел прочности изделий повышается с увеличением стекла в сырьевой смеси. Кроме того, в зависимости от содержания стекла в смеси меняются температура и продолжительность обжига, что влияет на предел прочности изделий. При высоком содержании стекла в смеси и температуре, превышающей 769 °С, наблюдалась деформация образцов. Результаты испытаний показали также, что водопоглощение изделий с содержанием 13 % стекла приблизительно равно водопоглощению обычного кирпича, тогда как водопоглощение изделий с высоким содержанием стекла низкое.

Кроме того, были проведены работы по окрашиванию полученных материалов введением различных добавок оксидов железа и кобальта, а также хромового ангидрида. Окрашивающие оксиды вводились в шихту перед перемешиванием.

При введении в шихту оксида железа удалось получить изделия розового цвета различных оттенков, при введении оксида кобальта — изделия различного цвета в зависимости от температуры обжига, а при введении хромового ангидрида — изделия зеленого цвета различных оттенков. Для улучшения декоративных свойств изделий некоторые из них покрывались глазуриями. По мнению американских исследователей, благодаря низкой абсорбционной способности, изделия из этих смесей могут успешно использоваться в суровых климатических условиях.

Датской фирмой «Karl Kristian Kobs Kroyer» запатентован способ изготовления силикатных кирпичей с использованием стеклобоя. Согласно этому способу используемое в качестве наполнителя измельченное кристаллизующееся стекло может быть заменено до 50 вес. % измельченными отходами стекла. При этом в качестве связующего используется либо жидкое стекло, либо тонкоизмельченный стеклобой.

В отличие от стандартных силикатных кирпичей, имеющих сероватую окраску, ухудшающуюся под влиянием атмосферной влаги, цвет кирпичей, полученных по указанному способу, не зависит от погодных условий. Кроме того, эти изделия перед обжигом могут быть покрыты эмалевой фриттой, окрашивающей изделия в любой желаемый цвет.

Таким образом, исследования американских и датских исследователей велись в направлении изучения оптимального состава и содержания стеклобоя, а также возможности окрашивания кирпичей введением различных окислов. Была доказана возможность использования при изготовлении облицовочных и строительных кирпичей от 50 до 94 % стеклобоя.

В России в направлении использования отходов стекла для изготовления строительных и облицовочных кирпичей исследований не проводится [2].

1.5.3. Применение отходов стекла для приготовления бетона и изделий из него

В последние годы в России и за рубежом проводятся работы по использованию стеклобоя в составе бетонных смесей. Количество применяемого стеклобоя в смесях в разных странах различно и зависит от назначения и состава бетона.

Технология приготовления бетонных смесей с использованием стеклобоя, как правило, не отличается от технологии приготовления газобетона и бетонной смеси на основе портландцемента и извести.

НИИ строительных материалов и конструкций и заочным инженерно-строительным институтом разработана композиция бетонной смеси с использованием стеклобоя для изготовления автоклавных изделий.

При введении 1,2 % стеклобоя в смесь, содержащую 10–26 % минерального вяжущего, 64,7–82,5 % песка и 7–9 % шамота, полученный бетон имеет объемную массу 1230 кг/м^3 и прочность при изгибе $480,2 \cdot 10^4 \text{ Па}$ (49 кгс/см^2). Перед введением в смесь стеклобой измельчается либо с шамотом, либо с шамотом и вяжущим до удельной поверхности $5000\text{--}7000 \text{ см}^2/\text{г}$.

Научно-исследовательский институт бетона и железобетона разработал кремнебетонную смесь для изготовления кислотостойкого ячеистого бетона с использованием по весу 25–50 % молотого стекла, 13–25 % кремнеземистого компонента, 34,85–49,9 % воды, 1–2 % интенсификатора структурообразования, 1–8 % интенсификатора твердения и 0,5–0,1 % алюминиевой пудры. Кислотостойкость полученного бетона при таком составе в 3 раза выше, чем у газобетона на основе портландцемента и извести.

Этим же институтом разработана и композиция жаростойкого бетона. Введение в смесь, содержащую 15–30 % портландцемента, 60–70 % жаростойкого заполнителя и 8–10 % тонкомолотой огнеупорной добавки,

2–5 % тонкомолотого стеклобоя позволяет повысить прочность бетона и сохранить его структуру после нагревания.

С целью повышения прочности и уменьшения объемного веса бетона Борским стеклозаводом и Горьковским домостроительным комбинатом разработана силикатобетонная смесь, в которой в качестве крупнозернистого заполнителя используется 12–30 % гранулированного пеностекла.

В последнее время в странах СНГ, в частности в Казахстане, разрабатывались также составы вяжущего с применением стеклобоя. Так, например, от 50 до 80 % молотого боя оконного или бутылочного стекла и 20–50 % растворимого стекла входит в состав вяжущего, разработанного Алма-тинским научно-исследовательским институтом строительных материалов. Вяжущее вещество используется для получения плотных и легких бетонов, используемых в жилищном, гражданском и промышленном строительстве. Начало схватывания вяжущего – через 46 мин, окончание – через 1 ч 31 мин. Предел прочности при сжатии бетона на указанном вяжущем – $3920 \cdot 10^4$ – $4900 \cdot 10^4$ Па (400–500 кгс/см²).

Разработан и состав вяжущего автоклавного твердения, применяемого при цементировании глубоких высокотемпературных скважин. При введении до 20 % стеклобоя, боя силикатного кирпича и хроматов щелочных металлов состав обладает высокой механической прочностью и коррозионной стойкостью, а также высокой адгезионной способностью.

За рубежом канадской фирмой «Superior Concrete Products» разработан и запатентован процесс переработки отходов стекла, в котором стекло и цемент смешиваются в соотношении 4 : 6 для изготовления строительных блоков. Их внешний вид напоминает мрамор. Блок имеет такие же характеристики прочности и влагопоглощения, как и обычные бетонные блоки.

Способ изготовления облицовочных бетонных блоков на основе 60 % измельченного стеклобоя и 40 % силикатных материалов разработан и запатентован в Германии. Смесь увлажняют до 15–20 % и формируют с

применением загустителей. После сушки в течение 30–60 мин при температуре 70–90 °С затвердевшая смесь подвергается обжигу при температуре 600–700 °С с последующим охлаждением до комнатной температуры. В результате получают прочные пористые бетонные блоки. Во Франции разработан способ изготовления облицовочных бетонных блоков из смеси 10–50 % дробленого стеклобоя с цементом и песком или гравием.

Полировка наружной поверхности блока обеспечивает его плотность, водонепроницаемость, незначительную пористость и высокие декоративные качества. При использовании сравнительно большого количества частиц стекла достаточно крупных размеров получают блок с мраморовидной поверхностью.

Использование стеклобоя позволяет получать бетонные блоки, обладающие высокой механической прочностью. Так, например, прочность на сжатие плит толщиной 150 мм, изготовленных из смеси 210 кг портландцемента, 2 т песка и 2 т дробленого стекла, составила $999,6 \cdot 10^4$ Па (102 кгс/см^2), в то время как подобные изделия, не содержащие добавки стекла, имели прочность всего $686 \cdot 10^4$ Па (70 кгс/см^2).

Во Франции запатентован также способ изготовления строительных элементов с применением отходов стекловолокна [2]. В соответствии с этим способом отходы стекловолокна перемешивают с цементом и водой в следующем соотношении (весовые проценты): отходы стекловолокна – 92; медленноотвердеющий цемент – 7; вода – 1. Перемешивание производится в холодном состоянии до получения однородной массы. Затем полученную массу заливают в формы, подвергают вибрации, прессуют и сушат в течение трех суток. Полученные блоки могут быть использованы в качестве противопожарных перегородок, а также для изготовления напольных плит. Они отличаются высокой огнестойкостью (порядка 1500 °С), при этом их механические свойства соответствуют свойствам традиционных изделий.

Применение отходов стекла в изготовлении бетонных изделий, помимо решения проблемы утилизации отходов, позволяет повысить прочность

бетонных изделий, улучшить их тепло- и звукоизоляционные свойства, снизить коэффициент температурного расширения, а также улучшить внешний вид бетонных изделий.

1.5.4. Использование отходов стекла для изготовления пеностекла

Преимущества пеностекла перед большинством изоляционных материалов широко известны. Этот материал, благодаря комплексу весьма ценных и присущих только ему свойств, пока не нашел конкурентоспособного заменителя в технике и строительстве. Сочетание таких свойств, как малый объемный вес, низкие свойства водопоглощения и теплопроводности, высокая устойчивость против агрессивных сред и огнестойкость, позволяют широко использовать пеностекло для самых разнообразных целей.

Несмотря на то, что родиной этого материала является Россия, его производство в нашей стране до сих пор не нашло достаточно широкого распространения. Развитие производства и особенно экспорта потребовало улучшения качества продукции и совершенствования технологии. В настоящее время в большинстве стран мира, в том числе и в нашей стране, наибольшую известность получил порошковый метод производства пеностекла при раздельном способе вспенивания блоков в жаростойких формах и последующего отжига в конвейерных печах.

Во многих странах мира проводятся работы, направленные на снижение себестоимости производства пеностекла за счет использования стеклобоя, а также недефицитных и дешевых вспенивателей. Борским стекольным заводом и Горьковским домостроительным комбинатом разработана технология получения пеностекла на основе стеклобоя, по которой с целью улучшения технологического процесса наряду с коксом и вспенивателей в шихту вводят известковое молоко [2]. В США Калифорнийским университетом запатентован способ изготовления пеностекла на основе стеклобоя, при котором в качестве вспенивателя могут применяться карбонаты лития, бария, калия, стронция,

доломит, термообработанные твердые отходы установок по очистке сточных вод, экскременты домашнего скота и птицы.

При этом способе допускается применение боя тарного стекла различных цветов и следующее количество примесей: Fe – 0,1–3 %, Sn – 0,1–2 %, других металлов 0,1–1 %, целлюлозы — 0,1–1 %, других органических веществ — 0,1–1 %. Измельченную смесь стекла смешивают с 5–10 вес. % процентами вспенивающего агента, затем смесь нагревают при 500–1000° С до размягчения и спекания стекла и действия пенообразователя.

Для получения материала плотностью 0,1–2,0 г/см³ степень вспенивания регулируется. В смесь могут быть введены наполнители, не препятствующие вспениванию, и пигменты.

Полученный строительный материал непроницаем для воды и газа, негорюч, не имеет запаха, легко окрашивается и поддается механической обработке, обладает хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами. Плиты размерами 300 × 300 × 25 мм почти в 6 раз дешевле и в 5 раз легче обычного кирпича. Они пригодны для замены кирпича и шлаковых блоков, используются в качестве кровельного материала, для изоляции стен, потолков и других элементов зданий [2]. Университетом штата Юта в США разработан способ получения пеностекла из стеклобоя, обработанного реагентами, обеспечивающими введение в его структуру гидроксильных групп.

Измельченные отходы стекла, имеющие частицы размером 29 мкм, помещают в автоклав и выдерживают в течение нескольких часов в атмосфере насыщенного водяного пара при температуре 390 °С и давлении $744,8 \cdot 10^4$ Па (76 кгс/см²). Затем стеклобой охлаждается до комнатной температуры, после чего нагревается в печи до температуры 1100° С. При этой температуре гидроксильные группы вступают во взаимодействие с образованием водяного пара, вызывающего вспенивание размягченного стекла [2].

1.5.5. Использование стеклобоя и аморфных силикатов для получения пеностекла и силикатных пеноматериалов

Принципы получения пеностекла были разработаны в 30-е годы XX века И. И. Китайгородским [7], а технология усовершенствована и подробно описана Б. К. Демидовичем [4;5]. К сожалению, из четырех заводов, работавших в Советском Союзе по производству пеностекла, до настоящего времени удалось сохранить только Гомельский – ныне ОАО “Гомельстекло”. При этом объем выпуска материала остается явно недостаточным даже для Беларуси.

В результате Россия осталась без собственного производства материала, острая необходимость в котором все более ощущается в условиях повышенных требований к энергосбережению и росте цен на энергоносители.

Фактическим монополистом производства пеностекла в мире является фирма «Pittsburgh Foamglas», имеющая головное европейское представительство в Бельгии. Однако пеностекло производства этой фирмы не находит широкого применения в России по ряду причин. Во-первых, это ограничения по использованию пеностекла «Foamglas» в жилищном строительстве, что связано, с одной стороны, с паронепроницаемостью материала и что ограничивает его использование в ограждающих конструкциях, а с другой стороны, это наличие в структуре сульфидных соединений, что приводит к выделению сероводорода в течение длительного времени.

Немаловажной проблемой, с технологической точки зрения, является необходимость использования в существовавших технологиях специальных стекол и невозможность применения стеклобоя в качестве сырья. Механизм структурообразования пеностекла основан на двух основных положениях: использовании «длинных» стекол для расширения температурного интервала спекания порошков и применении для газообразования окислительно-восстановительной пары сульфат-углерод [9]. Именно жесткие требования к

термическим свойствам исходного стекла не позволяют использовать стеклобой как сырье в классической порошковой технологии пеностекла.

Когда перед нами встала задача возрождения технологии пеностекла, то основополагающим принципом явилось понимание того, что пеностекло в отличие от большинства процессов стекольной промышленности в качестве сырья использует дисперсный материал, а значит, определяющими будут свойства поверхности, а не объема силикатного материала.

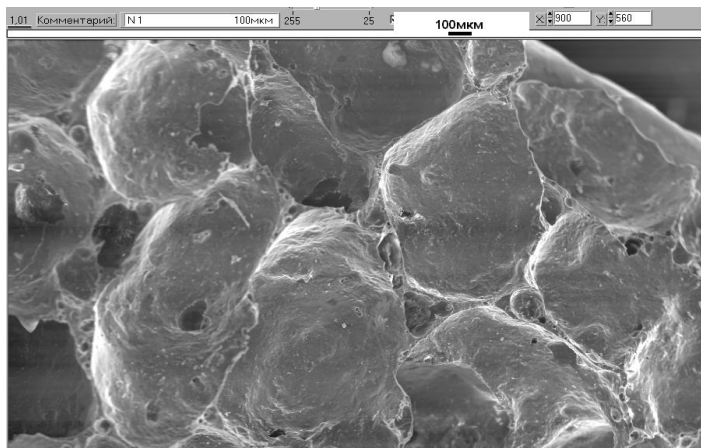


Рис.1.6. Фотография структуры пеносиликатного материала, полученного по предложенной технологии

Действительно, дисперсное стекло обладает ярко выраженными щелочными свойствами. В результате взаимодействия порошков стекла с водными растворами происходит вымывание катионов с поверхности материала. В большей степени выщелачиванию подвержены ионы Na^+ и в меньшей Ca^{2+} .

Поэтому дисперсное стекло, подвергнутое обработке в водных растворах,

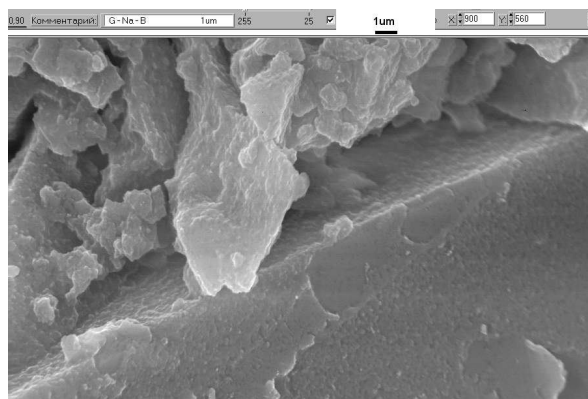


Рис.1.7. Фотография поверхности частиц стекла, подвергнутых гидротермальной обработке

имеет поверхность, существенно отличающуюся от исходного материала. На рис. 1.7 представлена фотография, полученная методом сканирующей электронной микроскопии, поверхности частиц порошка стекла, подвергнутого гидротермальной обработке.

Такой материал уже не будет спекаться по закономерностям, характерным для обычного стекла, – поверхность его представляет собой фактически аморфные поликремневые кислоты (гидратированный оксид кремния), обедненный относительно основной массы ионами Na^+ . В этом случае избыточное количество ионов Na^+ находится в растворе или, при повышении температуры, в виде гидроксосоединений, сорбированных на поверхности, т. е. поверхностные слои частиц стекла, обработанного в водных растворах, содержат только исходные компоненты для синтеза стекла – аморфный оксид кремния и щелочные соединения натрия. Синтез собственно стекла из этих компонентов может осуществляться при температурах значительно более низких, чем синтез обычного стекла вследствие аморфной природы оксида кремния, как это происходит, например, по технологии низкотемпературных стекол типа Каназита [43].

Поэтому гидротермальная термообработка обработанных порошков стекол приводит к повторному синтезу стекла на поверхности частиц, сопровождаемому газообразованием, типичным для синтеза стекла, т. е. выделением паров воды или углекислого газа, если анионная часть растворов была обогащена карбонатами. В обоих случаях выделяющиеся газы могут служить окислителями углерода в системе, т. е. появляется возможность избавиться от сульфидов в конечном продукте.

Другим существенным преимуществом предложенной технологии пеностекла является естественное омоноличивание материала в процессе термообработки, связанное с синтезом силикатов, т. е. происходит процесс, аналогичный спеканию порошка обычного стекла, приводящий к предотвращению свободной диффузии газов, необходимых для пенообразования, сквозь толщу материала. Поэтому при использовании стекла, обработанного гидротермальным способом, требования к собственно исходному стеклу становятся несущественными. Действительно важными, становятся процессы силикатообразования на поверхности частиц,

т. е. технологические приемы активации поверхности, а значит, появляется возможность использовать для сырья различное стекло, т. е. обычный не сортовой стекlobой.

Наконец, получаемый продукт вследствие химической микронеоднородности порошков может быть легко подвергнут направленной кристаллизации, что приводит к уменьшению объема пленок между ячейками и появлению в части перемычек отверстий, способствующих паропроницаемости материала. Так, на рис. 1.6 приведена фотография типичной структуры получаемого материала. На поверхности пленок ячеек отчетливо видны волнообразные следы кристаллизации, а стенки некоторых ячеек имеют сквозные отверстия.

Таким образом, порошки стекла, подвергнутого гидротермальной обработке, можно рассматривать как микроструктурные неоднородные и реакционноспособные материалы, в ходе термообработки которых происходит синтез стекла на поверхности с восстановлением химической однородности.

Эти процессы легли в основу технологии, разработанной и освоенной в промышленном масштабе на единственном на сегодняшний день в России действующем заводе по производству пеностекла, на ЗАО «Пеноситал» (www.penosytal.ru).

Сырьем для производства являются: стекlobой, вода и четыре компонента (реагенты для вспенивания А, В, С, D). Стеклобой, пришедший на предприятие, отделяется от мусора и подается в сушильный барабан, откуда – в дробилку на дробление. Далее стекlobой с помощью элеватора поступает в расходный бункер-накопитель.

Реагент А, поступающий на предприятие, с помощью дозатора загружается в специальный бункер-накопитель.

Реагенты В, С, D и вода в соотношениях, контролируемых АСУТП производства, дозируются со складом в емкость с мешалкой, где тщательно перемешиваются.

В процессе производства молотый стеклобой, реагент А и смесь реагентов в дозированных количествах непрерывно поступают в смеситель непрерывного действия, по выходе из которого масса подается в окатыватель для формирования гранул. Готовые гранулы полуфабриката отправляют на склад.

При производстве пеностеклянного гравия гранулы полуфабриката загружаются в бункер-дозатор, откуда дозируются в барабанную печь вместе с опудривателем, поступающим из другого бункера-дозатора. На выходе печи вспененные гранулы отделяются от опудривателя и охлаждаются в барабанном холодильнике, после чего рассеиваются по фракциям в классификаторе и подаются на фасовку и упаковку. Отделенный в барабанном холодильнике опудриватель с помощью элеватора возвращается обратно в бункер-дозатор опудривателя.

При производстве пеностеклянных плит и блоков полуфабрикат загружается в весовой дозатор и далее в печные тележки, которые направляются в проходную печь. На выходе из печи вспененные блоки-полуфабрикаты вынимаются из тележки и подаются на линию распиловки. Здесь из блока-полуфабриката выпиливают плиты заданных размеров. Обрезь распиловки вместе с отбракованными блоками подается на участок дробления и отсева, где получают пеностеклянный щебень и пеностеклянный «легкий» песок, направляемые на фасовку и упаковку.

На рис. 1.8 можно увидеть готовые блоки на складе готовой продукции и биг-баги с пеностеклянным гравием и щебнем на заднем плане.

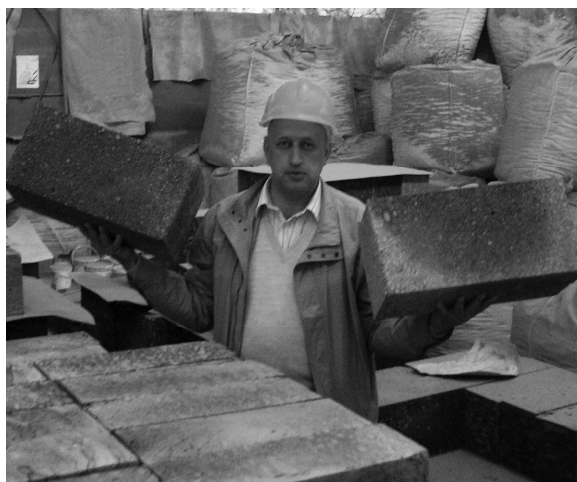


Рис. 1.8. На складе готовой продукции

Предложенный теоретический подход к технологии пеностекла как к химическому процессу низкотемпературного синтеза стекла из дисперсного аморфного оксида кремния и щелочного компонента и параллельному окислительно-восстановительному процессу газообразования на базе продуктов стеклообразования открывает широкие возможности синтеза для новых

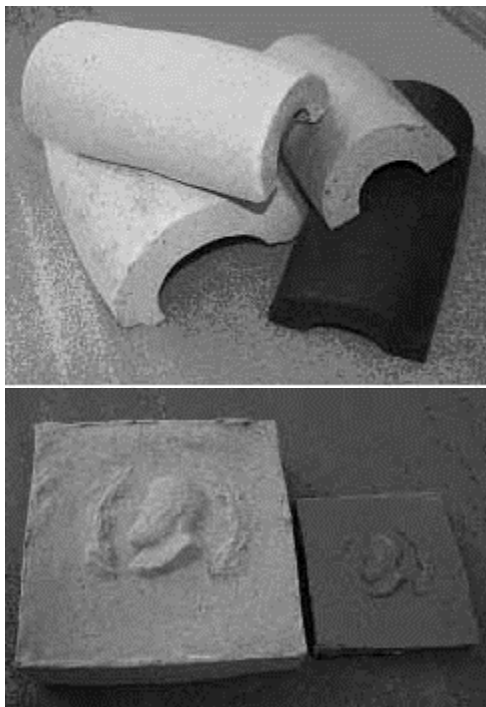


Рис. 1.9. Блоки пеностеклянных материалов сложной формы для теплоизоляции труб и облицовки

продуктов. Название «пеностекло», как можно заметить было еще ранее по тексту, является весьма условным вследствие кристаллизации готового материала. Однако в силу традиционно сложившейся терминологии предлагается использовать общее название «пеностеклянные» материалы, учитывая условность этого названия.

Существенной особенностью гидротермально обработанного стекла является его высокая химическая активность, которая может быть положена в основу приготовления вяжущих композиций,

которые, в свою очередь, позволяют получать пеностеклянные изделия сложной геометрической формы, как показано на рис. 1.9, или существенно снизить энергозатраты вышеописанной технологии пеностеклянных блоков за счет отказа от форм в процессе обжига [11].

Другим вариантом использования вяжущих свойств дисперсного стекла может быть получение мелкого пеностеклянного гранулята (рис. 1.11) для «теплых» штукатурок и растворов. Возможность получения прочных сырцовых гранул допускает синтез готового пеностеклянного гранулята с размерами частиц от 0,2 мм.

Дальнейшим развитием представлений о реакционном спекании пеностеклянных материалов может быть полный отказ от стекла в сырье.

Действительно, если в вышеописанном процессе происходит низкотемпературный синтез стекла только в поверхностном слое гидротермальным способом обработанных порошков, то

возможен и синтез пеностеклянных материалов из природных дисперсных силикатов. Примером такого синтеза может служить представленный на рис. 1.10 блок пеносиликатного материала, полученного из типичной кирпичной глины.

Таким образом, можно заключить, что целесообразно рассматривать дисперсное стекло и дисперсные аморфные силикаты как сырьевые материалы с выраженными поверхностными свойствами, что может быть использовано для низкотемпературного синтеза стеклообразных материалов, а при

определенных условиях – пеностеклянных материалов. Такие теоретические представления уже привели к реальным практическим результатам, обладают существенным потенциалом и в будущем следует ожидать от них новых интересных направлений и технических решений.

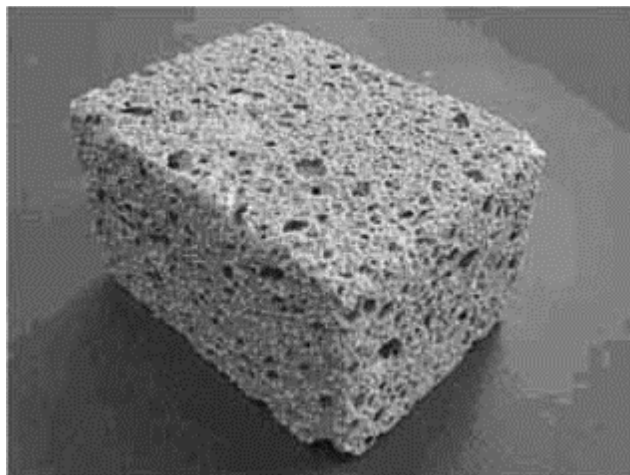


Рис. 1.10. Пеностеклянный материал, синтезированный на основе кирпичной глины

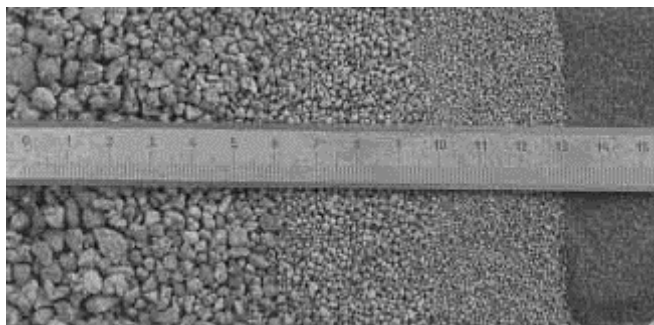


Рис.1.11. Пеностеклянный гранулят

1.6. Использование отходов стекла в дорожных покрытиях

Одним из направлений использования стеклобоя является применение его для строительства дорог. Для этого он предварительно тщательно дробится с целью изготовления минерального порошка для дорожного бетона. Такой порошок является важнейшим структурообразующим компонентом асфальтобетона. На его долю приходится 90–95 % суммарной поверхности минеральных зерен, входящих в состав асфальтобетона. Основное его назначение — это перевод битума в пленочное состояние, а также заполнение пор между крупными частицами, в результате чего повышается плотность и прочность асфальтобетона. Минеральному порошку из стекла свойственна более развитая поверхность и отсутствие пористости и, как следствие, более высокое набухание в смеси с битумом и дегтем.

Наличие стекла в смеси улучшает ее способность удерживать тепло, что позволяет готовить смесь при температуре 135 °С и укладывать при температуре до 4,4 °С. Это дает возможность получить более плотное дорожное покрытие, чем в случае применения обычного асфальта.

Стекольный бой представляет собой промышленный или бытовой отход, который по прочности и зерновому составу близок к минеральным материалам, применяемым в асфальтобетонных смесях, и может заменить их. Применение стеклобоя позволяет не только восполнить дефицит каменных материалов, но и уменьшить расход битума, а также получить покрытия с высокими рефлектирующими свойствами.

В асфальтобетоне можно использовать любой стеклобой — бутылочный, оконный, медицинский и т. д. Наибольший размер зерен не должен превышать 15 мм. Потеря массы при испытании стеклобоя на дробимость должна быть не более 15 %.

Подбор состава асфальтобетонной смеси на основе стеклобоя производят в каждом конкретном случае с учетом его зернового состава при добавлении песка и минерального порошка. С применением стеклобоя рекомендуется готовить смеси мелкозернистые для плотного асфальтобетона. Содержание стеклобоя не должно превышать 50 % массы смеси.

Введение в асфальтобетонную смесь до 10 % стеклобоя не снижает ее качества; большее количество заметно ухудшает показатели прочности при 50 °С, водо- и морозостойкости. Для улучшения вышеуказанных свойств рекомендуется использовать специальные добавки, например 2 % извести, а также 15 % нефтеполимерной смолы или 2–3 % катионных ПАВ, вводимых в битум. При приготовлении асфальтобетонной смеси со стеклобоем рекомендуется применять только вязкие битумы с глубиной проникания иглы при 25 °С не более 900,1 мм.

Прочность и водостойкость получаемых асфальтобетонов отвечают требованиям, предъявляемым ГОСТ 9128-84 к II–III маркам соответствующих типов асфальтобетонных смесей; остаточная пористость должна находиться в пределах 2–4 %, водонасыщение – 1,5–3,0 % объема.

Технология приготовления асфальтобетонных смесей со стеклобоем отличается от общепринятой только температурным режимом: температура нагрева минеральных материалов, в том числе стеклобоя, который подается в сушильный барабан по линии подачи песка или щебня, и температура готовой смеси могут быть снижены на 10–20 °С по сравнению с требованиями СНиП 3.06.03-85. Температура асфальтобетонных смесей со стеклобоем, укладываемых в конструктивные слои дорожных покрытий, должна быть не ниже 110 °С.

1.7. Другие области применения отходов стекла

Кроме направлений, описанных выше, имеются другие направления использования отходов стекла. Возможно, например, применение тонкоизмельченных отходов стекла в качестве наполнителей пластмасс, резины, красок и других материалов.

В композициях с полимерами (до 90 % стекла) стеклобой применяется для изготовления формованных изделий. Из такого материала могут быть изготовлены самые разнообразные изделия: стеновые панели, трубы и т. д. Прочность на сжатие композиций стекла с полиэфиром и стиролом составляет $7970 \cdot 10^4$ Па, а прочность на разрыв – $1080 \cdot 10^4$ Па. Кислотостойкость этих композиций выше, чем у бетона, причем они отличаются повышенной гидрофобностью.

Возможно применение стеклянного порошка при изготовлении резины повышенной твердости и износоустойчивости, например, для покрытия лестничных маршей и изготовления тормозных лент, и т. д.

Добавление тонкоизмельченного стекла к краскам придает им химическую и абразивную устойчивость, повышает их кроющую способность. Краски с применением стеклобоя могут быть использованы для создания текстурированных поверхностей. Также отходы стекла находят применение в электротехнической и радиотехнической промышленности.

Разработаны составы изоляционных керамических масс с использованием до 65–75 % стеклобоя и 25–35 % смеси алунда, глинозема и талька. В состав керамической массы на основе каолина, разработанной Славянским арматурно-изоляторным заводом, входит 5,0–24,5 % боя малощелочного стекла; 22,5–25 % глины и 12,8–27,5 % кварцевого песка.

В состав применяемого в радиоэлектронике изоляционного материала на основе порошкового боросиликатного стекла (70–90 %) входит 10–30 % алунда.

Стекло, измельченное до удельной поверхности 7000–8000 см²/г, смешивают с алундом, имеющим размер частиц 50–60 мкм. Заготовки формуют методом горячего литья из шликера, содержащего 83–84 % смеси порошкового стекла и алунда и 16–17 % связки. Затем заготовки подвергают термической обработке, засыпав глиноземом в течение 1–2 ч при температуре 600–650° С, и далее в течение 10–20 мин – при температуре 750 °С.

Отходы свинцовоборосиликатного стекла могут входить в состав стеклокерамических материалов, применяемых для изготовления конденсаторов [2].

Выводы

Потребность в сырьевых материалах для производства стекла неуклонно растет. В этой связи немаловажную роль играет вовлечение в оборот вторичных материальных ресурсов, заинтересованность в которых в нашей стране пока незначительна.

Изучение отечественного и зарубежного опыта показывает, что использование многих видов отходов, в том числе и стеклобоя, технически осуществимо и целесообразно как с экологической, так и экономической точек зрения.

В следующей главе будет рассмотрена технология переработки и утилизации отходов стекла на примере стеклотарного производства. Обоснованность выбора данного направления связана с тем, что основной процент в российской стекольной промышленности составляет производство стеклотары.

2. УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ СТЕКЛА НА ПРИМЕРЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛОТАРНОГО ЗАВОДА ОАО «КРАСНОЕ ЭХО» ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

2.1. Сырьевые материалы для производства стекла

Сырьевые материалы, применяемые для производства стекла, условно делят на главные и вспомогательные. К главным сырьевым материалам относят природные или искусственные вещества, которые служат для введения в стекломассу кислотных, щелочных и щелочно-земельных оксидов и диоксидов, являющихся основой для образования стекол.

Вспомогательными сырьевыми материалами считают различные соединения химических элементов, используемые для окрашивания и глушения стекла, улучшения качества стекломассы, ускорения варки стекла. Введение глушителей в стекломассу позволяет получить непрозрачное стекло.

Общее требование ко всем видам стекольного сырья – чистота и однородность по составу. Чистота сырьевых материалов определяется, в частности, количеством содержащихся в них оксидов железа, снижающих светопрозрачность стекла.

2.1.1. Главные сырьевые материалы

Содержание кремнезема SiO_2 в промышленных стеклах составляет 55–75 %. Для введения SiO_2 в стекло используют кварцевые пески, песчаники, кварциты, жильный кварц. Пригодность песков для стекловарения определяется их химическим и гранулометрическим составом для различных видов стекольных изделий. Содержание примесей в песке учитывают при расчете шихты.

Пески, содержащие более 95 % SiO_2 и относительно мало окрашивающих примесей (Fe_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 , MnO_2 и др.), называют *стекольными*. Кремнезем повышает вязкость стекломассы и способствует повышению скорости машинного вытягивания, повышает механические свойства, тугоплавкость, термостойкость, уменьшает коэффициент теплового расширения. Химический состав некоторых оксидных промышленных стекол представлен в табл. 2.1.

Полуторный оксид бора (B_2O_3) вводится в стекломассу в виде борной кислоты, буры, борсодержащих минералов. Введение его взамен Na_2O снижает коэффициент теплового расширения, повышает термическую и химическую устойчивость стекла. При замене SiO_2 полуторным оксидом бора снижается склонность стекла к кристаллизации, увеличивается скорость варки и улучшается осветление стекла. B_2O_3 применяется в производстве химически и термически стойких стекол в количестве 2–20 %.

Глинозем (Al_2O_3) вводят в стекло для получения высокосортных алюмосиликатных, алюмоборосиликатных стеклоизделий. Для производства технического, оконного и других сортов стекла используют природное глиноземсодержащее сырье: полевые шпаты, пегматиты, каолины, отходы горно-обогачительных фабрик. Al_2O_3 применяется в производстве тарных стекол (3–12 %), химико-лабораторных и электротехнических (2–25 %), термометрических, оконных и др. Глинозем повышает температуру плавления, вязкость, температуру размягчения, а также поверхностное натяжение, ухудшает процесс варки стекла и ее гомогенизацию, увеличивает химическую стойкость и механические свойства стекла.

Оксид натрия (Na_2O) наряду с кремнеземом — важнейшая составная часть большинства промышленных стекол. Его вводят в виде соды и сульфата натрия. В стекловарении применяют в основном безводную (кальцинированную) соду. Сульфат натрия бывает природный и искусственный. При варке стекла в шихту вводят восстановитель (углерод) для облегчения разложения сульфата на оксид натрия и летучие продукты.

Для введения углерода в шихту используют кокс, древесный уголь, антрацит, опилки в количестве 6–7 % массы сульфата натрия. При сравнении соды и сульфата натрия как сырья следует иметь в виду, что варка стекла из содовой шихты значительно проще, а оксид натрия ускоряет стеклообразование и понижает температуру варки стекла, облегчает процесс осветления, однако Na_2O повышает коэффициент теплового расширения и снижает термическую и химическую устойчивость стекла.

Оксид калия (K_2O) вводят в состав стекольной шихты в виде поташа K_2CO_3 и содово-поташной смеси. Оксид калия снижает склонность стекла к кристаллизации, улучшает цветовой оттенок стекла, придает ему блеск. K_2O применяется главным образом при производстве хрусталя, цветных, оптических, химико-лабораторных и технических стекол.

Оксид кальция (CaO). Для введения в состав стекломассы оксида кальция чаще всего применяют известняк и мел, реже — мрамор и известковый шпат. Оксид кальция — одна из главных составных частей стекла, придает ему химическую устойчивость, понижает температуру плавления, повышает механические и химические свойства.

Оксид магния (MgO) вводят в состав стекла посредством углекислого магния, встречающегося в природе в виде магнезита и доломита. Оксид магния снижает склонность стекла к кристаллизации, повышает поверхностное натяжение и увеличивает скорость твердения. При введении MgO вместе с Al_2O_3 повышается химическая устойчивость стекла.

Диоксид циркония (ZrO_2) применяется в производстве химико-лабораторного стекла (3–4 %), щелочестойких (12–14 %) и других стекол. Он повышает температуру плавления и вязкость, увеличивает химическую стойкость, уменьшает тепловое расширение.

Оксид бария (BaO) улучшает варочные и особенно выработочные свойства стекломассы, увеличивает плотность и показатель преломления, снижает прочностные свойства, повышает коэффициент теплового расширения.

Оксид цинка (ZnO) применяется в производстве оптических стекол (2–65 %), устойчивых к ионизирующим излучениям (2–86 %), хрусталя (17–34 %). Присутствие его в составе стекла понижает температуру плавления, вязкость, механические свойства, уменьшает склонность к кристаллизации, повышает показатель преломления.

Оксид фосфора (P_2O_5) применяется в производстве оптических стекол (до 70 %), дозиметрических (до 90 %), поглощающих инфракрасное излучение (70 %).

Для ускорения варки стекломассы и использования отходов в нее вводят стекольный бой в количестве от 20 до 40 %.

Таблица 2.1

Химический состав некоторых оксидных промышленных стекол, мас. %

Вид стекла	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃	B ₂ O ₃	BaO	Li ₂ O	PbO	ZnO	As ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
Листовое	72,8	1,7	7,6	3,1	13,2	0,3	0,5	0,8	—	—	—	—	—	—	—
Электровакуумные															
• детали кинескопов	59,8	3,6	5,5	2,5	5,5	9,8	—	—	—	2,3	0,5	10,5	—	—	—
• для спаев со стеклами и металлами	2,1	0,8	—	—	—	—	—	—	8,8	1,7	—	74,6	12	—	—
Светотехническое															
• для линз Френеля	71,5	0,2	8,0	2,3	17,0	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
• молочное	64,3	9,2	2,7	—	16,3	1,0	—	—	—	—	—	—	—	6,5	—
Оптическое															
• легкий крон	69,5	8,8	—	—	16,2	—	—	—	—	—	—	—	0,2	5,3	—
• тяжелый флинт	31,6	—	—	—	—	2,85	—	—	—	—	—	65,3	0,25	—	—
Химико-лабораторное															
• для лаб. посуды	68,6	3,8	8,4	0,8	9,7	6,15	—	0,05	2,5	—	—	—	—	—	—
• типа «пирекс»	79,93	1,93	0,43	0,17	3,68	1,74	—	—	12,12	—	—	—	—	—	—
• высокотермостойкие	96,0	0,4	—	—	—	—	—	—	3,6	—	—	—	—	—	—
Термометрическое	57,0	21,0	7,5	4,5	—	—	—	—	10,0	—	—	—	—	—	—
Медицинское	73,0	4,5	7,0	1,0	8,5	2,0	—	—	4,0	—	—	—	—	—	—
Тарное	71,97	2,52	6,03	3,96	14,97	—	0,24	0,21	—	—	—	—	—	—	0,1
Сортовое	73,0	0,5	7,5	2,2	14,5	2,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—

2.1.2. Вспомогательные сырьевые материалы

Красители. Для окраски стекла используют соединения различных металлов, которые при варке либо растворяются в стекле (молекулярные красители), либо в виде мельчайших коллоидных частичек равномерно распределяются в стекломассе (коллоидные красители — соединения селена, серебра, золота и др.). В настоящее время можно получить стекло любого цвета. Кроме характера красителя и его концентрации на окрашивание стекла влияют условия варки, состав основного стекла и атмосфера печи (окислительная или восстановительная). В качестве молекулярных красителей применяют соединения марганца (фиолетовый цвет), кобальта (синий), хрома (зеленый), никеля (от коричневого до фиолетового) и др.

При коллоидной окраске в процессе варки стекломасса бесцветна. Частички красителя укрупняются и выделяются в виде коллоидов лишь при температуре ниже выработочной, а окончательную окраску изделия приобретают после вторичного нагревания до 500–700 °С.

Стекла, окрашенные различными красителями, варят в периодических или в непрерывно действующих малых ваннах печах при определенных режимах (в окислительной, слабо восстановительной или нейтральной средах, при необходимой температуре, с бурлением и перемешиванием или без последних и т. д.).

Обесцвечиватели применяют для получения бесцветного стекла. В качестве обесцвечивателей используют соединения селена, оксид никеля, небольшие добавки оксида кобальта, селитру, соединения мышьяка и сурьмы, диоксиды церия и марганца. Обесцвечивание обычно сводится к уничтожению окраски стекла, вызванной вредными примесями железа и в меньшей степени хрома, титана, ванадия, которые заносятся в стекло вместе с сырьевыми материалами.

Окислители и восстановители. Большая часть цветных стекол требует окислительных условий варки для того, чтобы предупредить переход красящих оксидов в низшие степени окисления — закиси. Однако некоторые цветные стекла требуется варить в восстановительных условиях. Соответствующие условия варки достигаются регулированием пламени в печи, а также добавлением в шихту окислителей и восстановителей. Окислители применяют также для обесцвечивания стекла. В качестве окислителей применяют нитраты, мышьяк и другие вещества, разлагающиеся с выделением кислорода в процессе варки стекла. Восстановителями служат древесные опилки, уголь, кокс, винно-каменная соль, соединения олова.

Глушители. Для получения глушеного (непрозрачного) стекла применяют соединения фтора и фосфора, реже — соединения сурьмы и олова, тальк и др. Глушение стекла и окраска его в молочно-белый цвет достигается путем распределения в стекле мельчайших частичек веществ (0,1–10 мкм), вызывающих рассеяние света. Благодаря различному светопреломлению стекла и глушащих частиц свет многократно отражается и преломляется и, таким образом, рассеивается. Глушеные стекла варят, как и цветные, при определенных режимах.

Осветлители. К осветлителям относятся материалы, способствующие осветлению стекломассы, т. е. освобождению ее от видимых мелких и крупных пузырей. В качестве осветлителей применяют селитру, диоксид церия, сульфат натрия, аммонийные соли и другие.

Ускорители варки стекла. Ряд химических соединений ускоряет варку стекла. Для интенсификации варки стекла используют аммонийные соли, хлористый натрий, оксиды бора, бария и другие, что повышает производительность печей на 10–15 %.

2.2. Краткая характеристика стеклотарного завода ОАО «Красное Эхо»

Промышленная площадка ОАО «Красное Эхо» расположена в центре п. Красное Эхо (Гусь-Хрустальный район), ограничена на северо-западе прудом, на юге — автодорогой, с остальных сторон — жилой зоной. Согласно санитарно-эпидемиологическому заключению для предприятия установлена СЗЗ размером 50 м от источников выбросов. В СЗЗ отсутствуют жилые дома. Ближайшая к территории предприятия жилая застройка расположена к юго-западу на расстоянии 40 м. Основное топливо — природный газ, электроэнергия; резервное топливо не предусмотрено. Используемые сырьевые материалы представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Расход сырьевых материалов, используемых на стеклотарном заводе ОАО
«Красное Эхо»

Сырьевой материал	Расход материала, т/год
1	2
Песок кварцевый	58739,0
Сода кальцинированная	16458,0
Доломит	12387,0
Глинозем	1222,0
Сульфат натрия [*]	139,0
Сульфатно-содовая смесь	2324,0
Оксид селена [*]	5,2
Оксид кобальта [*]	0,1
Стеклобой [*] , в том числе:	3598,0
Возвратный	966,0
Привозной	2632,0

Примечание: ^{*} Вспомогательные сырьевые материалы

Варка стекломассы осуществляется в регенеративных печах непрерывного действия (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Характеристика стекловаренных печей ОАО «Красное Эхо»

Наименование показателя	Величина показателя	
	Печь № 1	Печь № 2
Направление пламени	подковообразное	поперечное
Вид теплообменника	регенеративный	регенеративный
Источник тепловой энергии	пламенный	пламенный
Устройство бассейна	проточное	проточное
Производительность, т/сутки	190	200
Оснащение экономайзером	не используется	используется
Содержание боя, %	25–50	25–50
Вид стекла	бесцветное	бесцветное
Количество машинолиний	2	3

Отвод дымовых газов от стекловаренной печи № 1 осуществляется с помощью дымососа, от печи № 2 — естественным путем. Температура в пламенном пространстве поддерживается в районе 1550 °С (зона максимальных температур).

2.3. Технологические процессы стеклотарного производства и источники воздействия на окружающую среду

Стеклотарное предприятие состоит из основного производства — составного и машинно-ванных цехов; и вспомогательного (механический, ремонтно-строительный цеха, электроцех, котельная, компрессорная,

автотранспортный отдел (АТО)). Практически все процессы основного и вспомогательного производства автоматизированы. Технологическая схема производства стеклотары приведена на рис. 2.1.

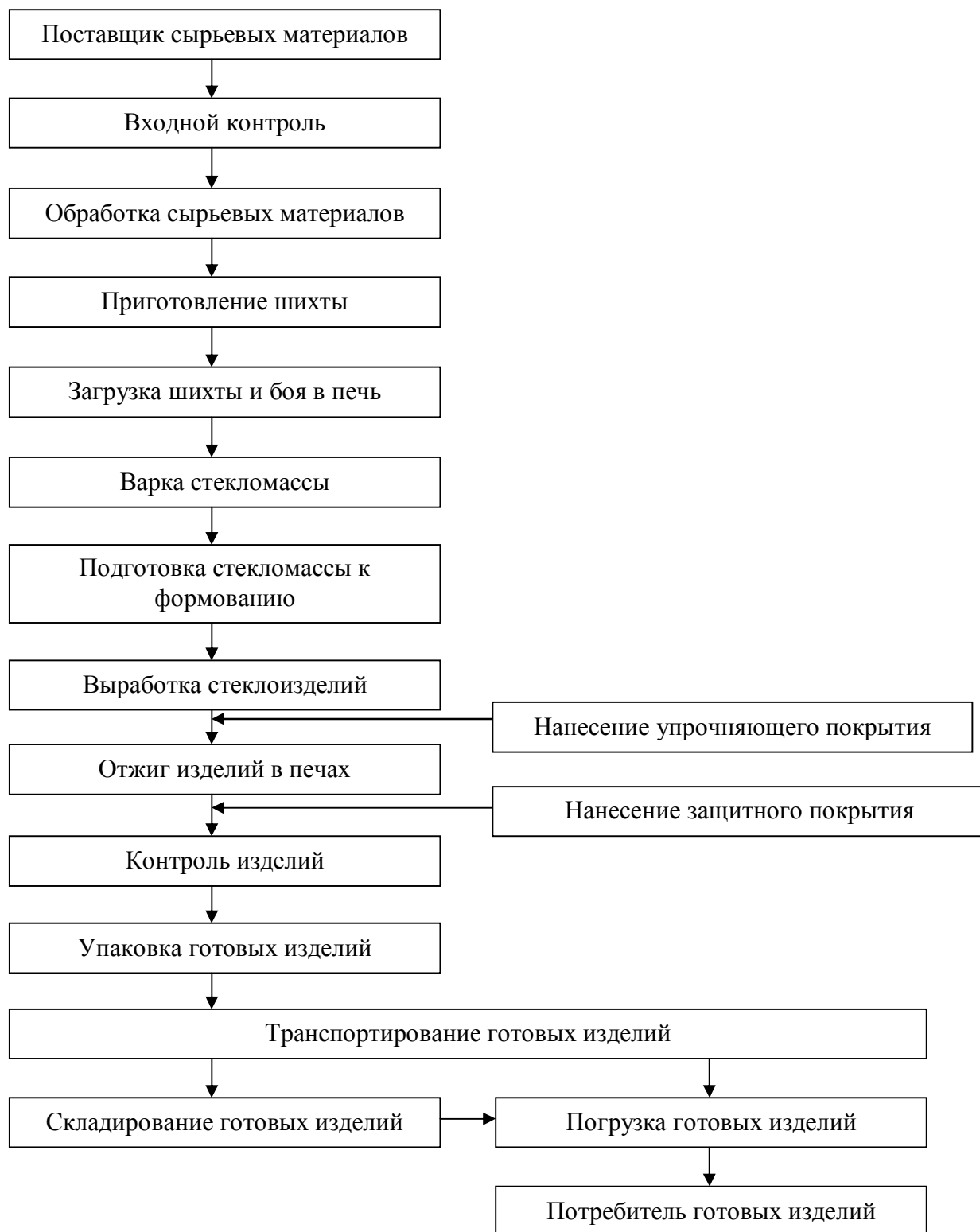


Рис. 2.1. Технологическая схема производства стеклотары

2.3.1. Стадия обработки и подготовки сырьевых материалов

Основными сырьевыми материалами предприятия являются: кварцевый песок, кальцинированная сода, доломит, глинозем, мел, известняк, сульфат натрия, стеклобой. Поскольку ОАО «Красное Эхо» специализируется на выпуске бесцветной тары, дополнительными материалами являются осветлители (оксиды Se и Co). Сырьевые материалы доставляются на предприятия автомобильным и железнодорожным транспортом. Частично сырье поступает россыпью (песок, сода, доломит, известняк, мел, стеклобой), частично в бумажных и полипропиленовых мешках (гематит, осветлители), частично в хопрах (сода, глинозем, сульфат натрия, хромит, антрацит).

Разгрузку соды, доломита и глинозема производят в силосные башни, при этом происходит пыление материала. Выбросы пылевоздушной смеси от данных источников проходят предварительную очистку бункерными фильтрами.

Сода и глинозем подвергаются растариванию, это происходит вручную и пневмотранспортом, затем подаются в силосы составного цеха. Пыль, образующаяся при растаривании соды и глинозема, через проем полузакрытого склада, попадает в атмосферу – единственный источник загрязнения в составном цехе предприятия.

На стадии растаривания происходит образование отходов сырьевых материалов, которые используются предприятием на благоустройство дорог и частью отходят в ТБО; упаковка с остатками токсичных веществ передается на переработку.

Все сырьевые материалы проходят стадии обработки и подготовки к использованию: дроблению, сушке, измельчению, просеву, дозировке и смешиванию. Дробление и измельчение происходит в молотковых дробилках, а сушка – в сушильных барабанах. Кварцевый песок и сульфат натрия подвергаются сушке; стадию дробления проходят доломит, песок, сода, сульфат натрия, глинозем.

Просеивание сырьевых материалов проводится для получения необходимой гранулометрической фракции. Все сырьевые материалы дозируются (на стадии дозировки также образуются отходы вентиляционной системы составного цеха, которые вывозятся на свалку ТБО) и транспортерами подаются в смесители, где перемешиваются и увлажняются.

Стадия обработки сопровождается сильным пылением, поэтому здесь располагаются группы циклонов и фильтров. Все линии обработки сырья оснащены одно- или двухступенчатой очисткой, включающей циклоны на первой ступени очистки и рукавные фильтры на второй. Пыль составного цеха содержит двуоксид кремния различного содержания, карбонат натрия и сульфат натрия. Наиболее интенсивным источником газовых выбросов являются сушильные барабаны, так как в процессе сушки кроме пыли выделяются продукты сжигания природного газа (оксиды азота, серы, углерода).

При производстве стекла используются собственный (возвратный) и привозной стеклобой. Возвратный стеклобой – это забракованные холодные изделия и горячий стеклобой от стеклоформирующих машин. При недостатке возвратного стеклобоя на предприятиях используется привозной стеклобой. Посты приема стеклобоя являются источниками выброса неорганической пыли, содержащей свыше 70 % двуоксида кремния.

Полученная шихта и стеклобой элеваторами транспортируются в машинно-ванные цеха. Шихта, не соответствующая требованиям, сбрасывается в металлические контейнеры и хранится на открытых площадках (источники выброса неорганической пыли, содержащей 20–70 % двуоксида кремния).

2.3.2. Стадия варки стекломассы

Варка стекла и выработка стеклоизделий осуществляется в стекловаренных печах разной производительности. Эвакуация отходящих газов стекловаренных печей осуществляется через кирпичные дымовые трубы. Стекловаренные печи ОАО «Красное Эхо» (печь № 2) оснащены экономайзерами, которые, выполняя роль утилизатора тепла, являются также аппаратами пылеулавливания, так как на поверхности внутренних стенок происходит осаждение твердых фракций выбросов (кремнийсодержащей пыли, взвешенных веществ). Выбросы от стекловаренной печи № 1 поступают в атмосферу без очистки, также они отапливаются природным газом, поэтому выбросы содержат продукты сжигания топлива (оксиды азота) и продукты разложения и уноса шихты (диоксид серы, аэрозоль кремнийсодержащей пыли). Оксид углерода в отходящих газах отсутствует из-за окислительной среды, поддерживаемой в зоне варки стекломассы.

Шихта, поступающая из составного цеха, и стекольный бой подаются к печам. Расплав шихты происходит под воздействием высоких температур (1400–1450 °С), создаваемых в печах путем сжигания газа. Готовая стекломасса охлаждается до температуры формования, гомогенизируется по температуре и химическому составу и подается питателями в стеклоформирующие автоматы. Акролеин и сажа, образующиеся при сгорании масел в процессе формования, удаляются через аэрационные фонари. При смазке стеклоформирующих автоматов образуются отходы: обтирочный материал, который далее используется в ремонтно-строительных работах; отработанные масла, которые собираются в специальные емкости и используются для смазки пресс-форм.

Отформованные изделия конвейером доставляются в печь отжига. В процессе отжига стеклоизделий выделяются оксиды азота, серы и углерода, удаляющиеся через аэрационный фонарь.

После отжига стеклотара подвергается упрочнению. В качестве упрочняющего покрытия на стеклотарных предприятиях используется тетраизопронат титана. Через аэрационные фонари предприятием в атмосферу удаляются продукты разложения стеклотары — изопронат, а также оксиды железа и марганца, образующиеся при проведении сварочных работ.

Готовые стеклоизделия упаковывают в термоусадную пленку и поставляют к потребителям. Здесь образуются отходы пленочных материалов, которые передаются специализированным предприятиям на переработку.

Конструкция загрузчиков исключает попадание пыли шихты в цеха, поэтому выбросы взвешенных веществ от аэрационного фонаря отсутствуют.

В процессе изготовления стеклотары образуется стеклобой, который используется в качестве сырья при варке стекла. При холодном ремонте печей образуется бой огнеупоров, повторно используемый на предприятиях.

В машинно-ванных цехах имеются участки ремонта форм, где располагаются пескоструйная установка очистки форм (источник выделения кремнийсодержащей пыли) и металлообрабатывающие станки.

Оборудование оснащено системами очистки (циклоны); отходы вентиляционной системы (абразивная и металлическая пыль) собираются в специальный бункер, а затем вывозятся на полигоны ТБО.

В процессе ремонта форм образуется лом черных металлов (отправляется на переработку на спецпредприятие), огарки электродов и отходы наждачной обработки металлов; отходы абразивных материалов разбираются работниками; обтирочный материал используется для розжига при ремонтно-строительных работах.

2.3.3. Вспомогательное производство

Механический цех является механической базой стеклотарного предприятия, где осуществляются работы, связанные с ремонтом и изготовлением оборудования. Некоторые металлообрабатывающие станки

оснащены местной вытяжной вентиляцией, оборудованной циклонами. Осадок вентиляционных систем механического цеха (оксид железа, абразивная пыль) собирается в специальную емкость и по мере накопления передается специальным предприятиям.

Во время сварочных работ в атмосферу выделяются оксиды никеля и хрома (VI), взвешенные вещества. При обработке металлов в цехах образуются следующие отходы: лом черных металлов, отходы наждачной обработки металлов и огарки электродов.

В автотранспортном отделении (гараже) производится обслуживание и текущий ремонт транспорта (образуется лом черных металлов, наждачные и абразивные круги). При эксплуатации машин и дорожно-строительной техники образуются отработанные масла, которые используются в машинно-ванных цехах для смазки пресс-форм; отработанные автопокрышки направляются на переработку. Автотранспорт предприятия имеет несколько источников выброса: закрытая стоянка автотранспорта, открытая стоянка, стоянка дорожной техники и автопогрузчиков, участок ремонта автотранспорта (источники выброса оксидов азота, углерода, серы, бензина, керосина, сажи). В цехах имеются вспомогательные участки: аккумуляторный (источники выброса серной кислоты); сварочный пост (источник выброса оксидов железа и марганца); окрасочный участок (источник выброса ксилола, уайт-спирита).

В атмосферу от передвижных источников загрязнения выделяются диоксид азота, серы, углерода, сажа, бензин и керосин. В мастерской проводится ремонт и зарядка аккумуляторов. Отработанный электролит сливается в пластмассовую емкость, нейтрализуется содой и сливается в канализацию, а отработанные аккумуляторы сдаются на переработку.

Склад горюче-смазочных материалов предназначен для приема, хранения и отпуска топлива для автотранспорта, обычно располагается на отдельной площадке. Топливо поступает в цистернах и перегружается в наземные емкости для хранения. Грунт, загрязненный нефтепродуктами, образующийся при

засыпке песком случайных переливов нефтепродуктов, собирается в металлические бочки и используется в качестве основы дорожного покрытия перед асфальтированием.

Ремонтно-строительный цех осуществляет ремонт производственных зданий, сооружений. При изготовлении столярных изделий на деревообрабатывающих станках образуются: обрез древесины, древесная стружка, которые реализуются населению. Выбросы от деревообрабатывающих станков проходят очистку на циклонах (источник выброса древесной пыли).

В структуру строительного цеха входит бетонно-растворный узел, где изготавливают смеси и растворы для стеклотарных предприятий (для проведения реконструкции производства). Процесс приготовления раствора включает ряд стадий: прием цемента и песка, разгрузку, дозировку и смешивание компонентов с добавлением воды. В качестве отходов образуется бумажная упаковка с остатками токсичных веществ, направляемая на переработку в спецпредприятие.

Котельная обеспечивает отопление и горячее водоснабжение предприятия. При эксплуатации котлов образуются отходящие газы, содержащие оксиды азота, углерода, бенз(а)пирен, удаляющиеся без очистки через дымовую трубу.

На ОАО «Красное Эхо» работают котлы-утилизаторы на стекловаренных печах (экономайзеры), которые используют тепло отходящих дымовых газов для нагрева воды и тем самым снижают расход природного газа в котельной и обеспечивают заводу горячую воду, когда котельная не работает.

Компрессорная предназначена для выработки сжатого воздуха и подачи его в производство. Отработанные масла в компрессорах собираются в специальные бочки и используются в цехах выработки для смазки пресс-форм.

На предприятиях действует *химическая лаборатория*, в которой производится анализ исходного сырья, готовой продукции и сточных вод. Используемые при контроле кислоты (соляная, серная, азотная) удаляются через вытяжку.

В *административно-бытовых подразделениях* в результате хозяйственной деятельности предприятия образуется смет производственный, смет уличный и твердые бытовые отходы, направляемые на свалку ТБО.

Освещение помещений и территории предприятий осуществляется люминесцентными лампами. Отработанные лампы хранятся в помещении электроцехов на складе и по мере накопления сдаются на переработку.

2.3.4. Водопотребление и водоотведение

Вода на предприятии используется для увлажнения шихты, охлаждения оборудования, стекломассы, подпитки системы водооборота, выработки теплоэнергии в котельной, хозяйственно-бытовых нужд. Водоотведение предприятия осуществляется в систему хозяйственно-бытовой канализации, затем сточные воды транспортируются на очистные сооружения. При эксплуатации очистных сооружений образуется осадок пескоуловителей и осадок иловый (био пленка), которые вывозятся на свалку ТБО.

В результате анализа технологических процессов разработаны схема 3 – жизненный цикл производства стеклотары и схема 4 – входных и выходных потоков с учетом образования выбросов, сбросов и твердых бытовых отходов.

Оценивая жизненный цикл типичного стеклотарного предприятия, можно сделать следующие выводы:

- наибольшее количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, образуется в цехах выработки в процессе варки стекломассы;
- наибольшее количество загрязняющих веществ, поступающих в воздух рабочей зоны, образуется в составных цехах при обработке сырьевых материалов и цехах выработки при отжиге стеклоизделий;
- основными отходами производства стеклотары являются отходы IV–V классов опасности: стеклобой, отходы сырьевых материалов, лом черных металлов.

2.4. Образование отходов в стекольном производстве

Производство изделий из стекла связано с образованием большого количества отходов и выбросов, которые можно классифицировать по физико-механическому состоянию следующим образом:

- твердые отходы (стеклобой, сырьевые материалы цехов подготовки шихты в виде пыли, порошковые отходы цехов обработки сортовой посуды);
- суспензии и шламы (шламы и осадки систем подготовки шихты, систем пылегазоулавливания и очистки сточных вод, суспензии систем шлифования и полирования стекол);
- сточные воды (сливы замасливателя в производстве стекловолокна, полировальные, промывные и травильные растворы при обработке и декорировании изделий и т. д.);
- газообразные выбросы (отходящие газы стекловаренных печей, содержащие оксиды азота и серы, соединения свинца, фтора, фосфора и бора, оксид углерода, бенз(а)пирен, дымовые газы сушильных цехов подготовки шихты, газовая фаза и воздух со стадий закалки и охлаждения стекла).

Образование отходов в различных подсистемах стекольного производства вызвано рядом причин, последовательность которых можно представить в следующем порядке: 1 – несовершенство технологических процессов отдельных стадий производства стекла; 2 – недостатки в конструкции оборудования и его несоответствие характеру протекающих процессов; 3 – несоблюдение технологических регламентов, низкая культура обслуживания и эксплуатации производства.

Из всех классификаций отходов наиболее эффективна классификация, учитывающая их физико-механическое состояние, химико-физическую структуру и специфические свойства. С учетом характеристик отходов предложена их классификация, представленная на рис. 2.2.

По свойствам и составу отходов их можно разделить на близкие к исходному сырью (порошковой шихте), к целевому продукту (стекломасса, стекlobой, крошка и пыль цехов обработки изделий), к сырью других производств.

В то же время ряд отходов образуют так называемые вторичные материальные ресурсы, например стекlobой, количество которого для некоторых производств достигает 50 % от исходной стекломассы. К таким ресурсам относятся и дымовые газы стекловаренных печей, теплота которых может быть использована в качестве источников энергии.

Классифицируя отходы производства стекла, необходимо выделить их токсичность, т. е. степень воздействия на человека, животный мир и растительность. По этому признаку можно выделить безвредные, токсичные и особо токсичные отходы.

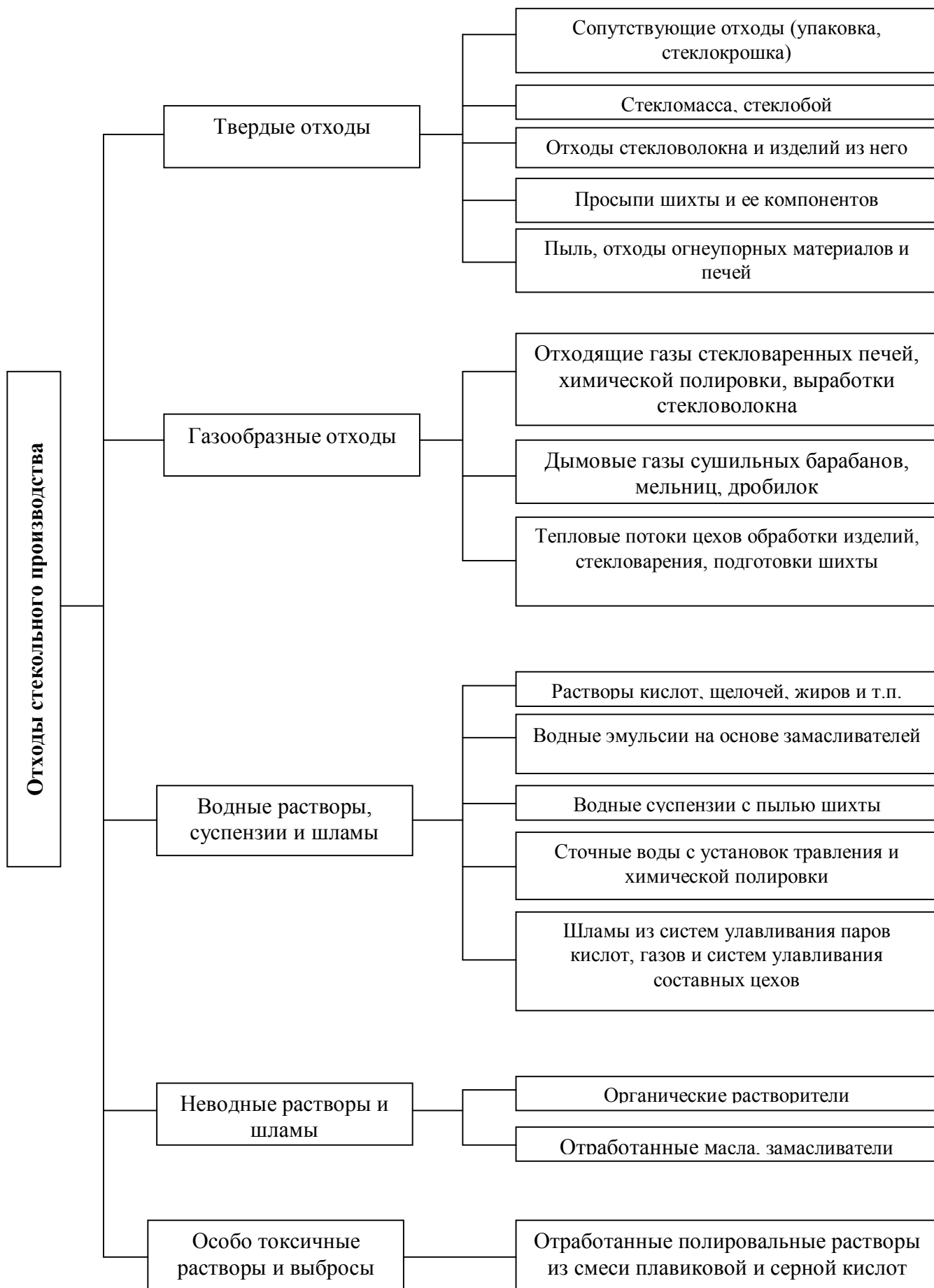


Рис. 2.2. Классификация отходов стекольного производства

2.5. Специальные разработки для технологии утилизации стеклобоя и расчет оборудования

2.5.1. Расчет сырьевых материалов

В настоящее время в стекольной промышленности применяют только 30–50 % стеклобоя. Основная цель разработки технологии по утилизации отходов стекла — увеличение в процессе стекловарения процентного содержания стеклобоя.

На основании данных по стеклотарному заводу ОАО «Красное Эхо» рассчитываем необходимое количество сырьевых материалов с учетом использования стеклобоя 70 %. Данный расчет представлен в табл. 2.4.

Расход сырьевых материалов

Таблица 2.4

Сырьевой материал	Расход материала, т/год (кг/ч)	Насыпная плотность, кг/м ³	Расход** материала, м ³ /ч
Стеклобой	41117,0 (4693,7)	2060	2,27
Песок кварцевый	17622,0 (2011,6)	1350	1,55
Сода кальцинированная	4937,0 (563,5)	700	0,8
Доломит	3716,0 (424,2)	1100	0,4
Глинозем	367,0 (41,9)	1000	0,04
Сульфато-содовая смесь	1627,0 (185,7)	900	0,2
Сульфат натрия*	97,0 (11,0)	—	—
Оксид селена*	1,6 (0,18)	—	—
Оксид кобальта*	0,03 (0,003)	—	—

Примечания: * Вспомогательные сырьевые материалы.

** При подборе оборудования в ряде случаев необходимо знать расход материалов (м³/ч), поэтому полученные значения расхода материалов (кг/ч) целесообразно выразить в м³/ч, разделив каждый результат (кг/ч) на насыпную плотность $\rho_{\text{нас}}$ данного материала.

2.5.2. Расчет расходных бункеров

Бункера устанавливают над технологическим оборудованием для обеспечения его непрерывной работы. Обычно бункера рассчитывают на –1,5–2,0-часовой запас материала.

На производстве применяются бункера прямоугольного поперечного сечения. Верхняя часть бункера имеет вертикальные стенки, высота которых не должна превышать более чем в 1,5 раза размеры бункера в плане, нижнюю часть его выполняют в виде усеченной пирамиды с несимметричными наклонными стенками. Для полного опорожнения бункера угол наклона стенок пирамидальной части на 10–15° превышает угол естественного откоса загружаемого материала в покое и угол трения о его стенки. Ребро двухгранного угла между наклонными стенками имеет угол наклона к горизонту не менее 45°, а при хранении влажного материала с большим содержанием мелких фракций — не менее 50°. Размеры выходного отверстия не менее 800 мм.

Требуемый геометрический объем бункера находим по формуле

$$V_{\text{геом}} = \frac{\Pi_{\text{ч}} \cdot n}{\eta},$$

где $\Pi_{\text{ч}}$ - расход материала, м³/ч;

$n = 2$ — запас материала;

η — коэффициент заполнения, принимаем равным 0,85–0,9.

Определим требуемый геометрический объем бункера № 1:

$$V_{\text{геом}} = \frac{\Pi_{\text{ч}} \cdot n}{\eta} = \frac{2,27 \cdot 2}{0,85} = 5,3 \text{ м}^3;$$

определим требуемый геометрический объем бункера № 2:

$$V_{\text{геом}} = \frac{\Pi_{\text{ч}} \cdot n}{\eta} = \frac{1,55 \cdot 2}{0,85} = 3,6 \text{ м}^3;$$

определим требуемый геометрический объем бункера № 3:

$$V_{\text{геом}} = \frac{\Pi_{\text{ч}} \cdot n}{\eta} = \frac{0,8 \cdot 2}{0,85} = 2 \text{ м}^3;$$

определим требуемый геометрический объем бункера № 4:

$$V_{\text{геом}} = \frac{P_{\text{ч}} \cdot n}{\eta} = \frac{0,4 \cdot 2}{0,85} = 0,9 \text{ м}^3.$$

2.5.3. Дробильное оборудование

Выбор типа и мощности дробилок зависит от физических свойств перерабатываемого материала, требуемой степени дробления и производительности. В данной работе рассматриваются способы переработки отходов стекла. Технологический процесс обработки стеклобоя рассмотрен в пункте 2.2, в этой схеме используется молотковая дробилка (рис. 2.3).

Корпус дробилки состоит из основания 1 и крышки 10. В сварном корпусе вращается вал ротора 3, установленный на роликовых подшипниках 2, вынесенных за пределы корпуса. Корпус изнутри футерован сменными броневыми плитами; в левой части крышки установлена отбойная плита 9.

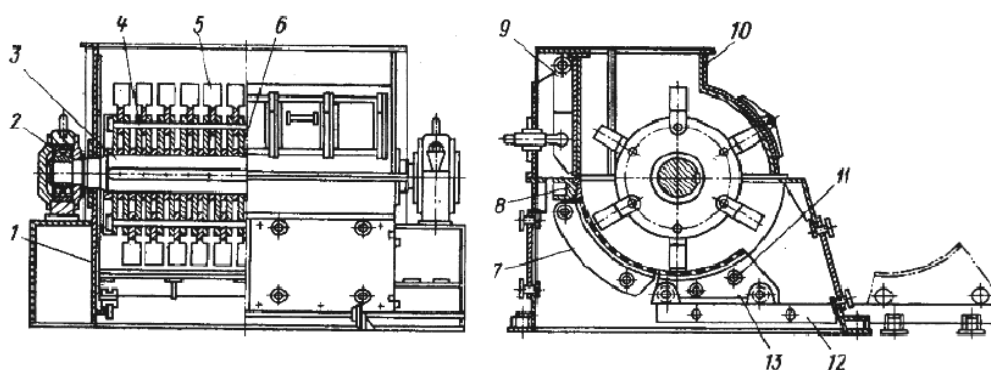


Рис. 2.3. Молотковая дробилка

На валу ротора размещены диски 6 с дистанционными кольцами между ними. Через диски проходят оси 4 с шарнирно подвешенными молотками 5. Число рядов молотков и их общее количество определяется назначением дробилки и ее размерами. На крупных дробилках устанавливают до 100 молотков массой 4...70 кг (в зависимости от типоразмера дробилки). Для

регулирования размера частиц продукта в крупных дробилках используется отбойный брус 8, перемещаемый в направляющих и фиксируемый в требуемом положении винтами. В нижней части камеры дробления установлены две колосниковые решетки: поворотная 7, шарнирно подвешенная на оси и выкатная. Рама 13 выкатной решетки установлена на катках, опорами для которых служат рельсы 12. Зазор между выкатной решеткой и молотками регулируют вращением эксцентриков 11.

Конструктивные размеры молотковых дробилок определяют в зависимости от размера d максимального куска в исходном материале. Примем $d = 120$ мм, тогда диаметр ротора для дробилки с вертикальной загрузкой:

$$D_p = 3d + 550 = 3 \cdot 120 + 550 = 910 \text{ мм.}$$

Длина ротора:

$$L_p = (0,8 \dots 1,2)D_p = 0,95 \cdot 910 = 865 \text{ мм.}$$

Длину молотка от оси подвески до внешней кромки рекомендуется принимать:

$$L_m = (0,2 \dots 0,25)D_p = 0,23 \cdot 910 = 210 \text{ мм.}$$

Форма и размеры молотков должны обеспечивать максимально возможную разгрузку оси их подвески при ударе.

2.5.4. Характеристика ленточного конвейера (транспортера)

Количество материала, поступающего на ленточный конвейер (транспортер), равно 4693,7 кг/ч, что соответствует определенной производительности, по которой можно выбрать (для проекта) марку конвейера.

2.5.5. Расчет пневмотранспортных установок

Физическая сущность пневматического перемещения сыпучих материалов заключается в свойстве частиц удерживаться во взвешенном состоянии в

струе воздуха при достаточной скорости движения последнего. При этом воздействие на частицу материала тем интенсивнее, чем с большей скоростью движется воздух.

Минимальная скорость воздуха в трубопроводе должна быть достаточной для поддержания частиц материала во взвешенном состоянии. Эта скорость зависит от скорости витания v , которая определяется из равенства веса частицы материала и подъемной силы встречного потока воздуха. Скорость витания зависит от аэродинамических свойств частиц материала, являющихся функцией их геометрической формы, размеров и массы.

Скорость витания определяется по формуле

$$v = k \sqrt{\frac{\rho}{\rho_v} d} = 0,8 \sqrt{\frac{1,1}{0,8} \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 0,22 \cdot 10^{-3} \text{ м/с},$$

где ρ — плотность материала, т/м³ (плотность доломита);

ρ_v — плотность воздуха, кг/м³;

d — диаметр частиц перемещаемого материала, м;

k — коэффициент, характеризующий форму и размер частиц материала, для шара $k = 10 \dots 170$.

Таблица 2.5

Вид транспортируемого материала	Размер типичных частиц, мм	α
Пылевидный	0,001...1,0	10...16
Зернистый однородный	1,0...10,0	17...20
Мелкокусковой однородный	10,0...80,0	17...22
Среднекусковой однородный	40,0...80,0	22...25

Меньшие значения k принимаются для частиц меньшего диаметра. Приведенные значения k соответствуют диапазону изменения размеров частиц от $1 \cdot 10^{-5}$ до $7 \cdot 10^{-2}$ м. При выполнении ориентировочных расчетов плотность воздуха для нагнетательных установок высокого давления рекомендуется принимать равной $\rho_v = 1,6 \dots 2,0$ кг/м³, а для всасывающих установок — $\rho_v = 0,8 \dots 0,95$ кг/м³.

Минимальная скорость воздуха в трубопроводе выбирается из условия движения сыпучего материала и принимается больше скорости витания. На участках трубопровода с давлением, близким к атмосферному, т. е. на выходе в нагнетательной установке и у сопла во всасывающей, скорость воздуха определяется по формуле

$$v_v = \alpha\sqrt{\rho} + \beta L_{\text{пр}}^2 = 12 \cdot 1,05 + 3 \cdot 3 = 21,6 \text{ м/с},$$

где α — коэффициент, учитывающий размер частиц материала (принимается по табл.2.5); ρ — плотность частиц материала, т/м³;

$\beta = (2...5)10^{-5}$ — коэффициент, учитывающий меньшие значения; принимается для сухих пылевидных материалов;

$L_{\text{пр}}$ — приведенная длина транспортирования, м.

2.5.6. Выбор сушильного оборудования

Сушильное оборудование необходимо для материалов, поступающих на завод влажными: песок, доломит, известняк. Характеристика кварцевого песка представлена в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Характеристика сырьевого материала

Наименование параметров	Единица измерения	Размер
Размер фракций	мм	0,05–1
Начальная относительная предельно допустимая влажность	%	6
Средняя начальная относительная влажность	%	2,7
Конечная относительная влажность	%	0,1

Производительность сушильных барабанов определяется количеством испаряемой влаги. Ее обычно характеризуют удельным паронапряжением (количеством воды, испаряемой 1 м³ рабочего объема сушильного барабана за час). При расчете сушильных барабанов напряжение по влаге C принимают равным при сушке песка — 80–88 кг/м³·ч.

Требуемый внутренний объем сушильного барабана рассчитывают по формуле

$$V_b = \frac{\sigma_1 \cdot (\omega_1 - \omega_2) \cdot A}{100 - \omega_2} = \frac{\sigma_2 \cdot (\omega_1 - \omega_2) \cdot A}{100 - \omega_1}, \text{ м}^3,$$

где W — количество влаги, удаляемой из материала за 1 ч, кг;

A — напряжение по влаге, кг/м³·ч;

σ_1 — масса материала, поступающего в барабан, т/ч;

σ_2 — масса материала, выходящего из барабана, т/ч;

ω_1 — начальная относительная влажность материала, %;

ω_2 — конечная относительная влажность материала, %.

Пример расчета

Дано:

$W = 5 \text{ %};$ $A = 80 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{ч};$

$\sigma_1 = 1,55;$ $\omega_1 = 6 \text{ %};$

$\sigma_2 = 1,47;$ $\omega_2 = 0,1 \text{ %};$

$$V_b = \frac{1,55 \cdot (6 - 0,1) \cdot 80}{100 - 0,1} = \frac{1,47 \cdot (6 - 0,1) \cdot 80}{100 - 0,1} \approx 7 \text{ м}^3.$$

На основании полученной величины выбираем сушильный барабан объемом 7 м³.

2.5.7. Выбор смесителя

Однородность шихты, от которой в значительной мере зависит качество стекломассы, определяется гранулометрическим составом сырых материалов, степенью их увлажнения, постоянством их химического состава, способом и продолжительностью перемешивания шихты и др. На стекольных заводах чаще всего применяют тарельчатые либо конусные барабанные смесители периодического действия. Это объясняется тем, что, во-первых, при периодическом смешивании можно обеспечить точное соотношение между компонентами (их загружают в смеситель по массе), а, во-вторых, при большом числе компонентов их дозирование в смеситель непрерывного действия затруднено.

Отечественной промышленностью серийно выпускаются барабанные двухконусные смесители типа БК номинальной емкостью корпуса 1,6 и 2,5 м³ и установочной мощностью электродвигателей — 15,75 и 23,1 кВт.

2.5.8. Стекловаренная печь для варки стеклобоя

В настоящее время для выработки стекла в основном применяются печи традиционной конструкции. Такие печи имеют достаточно глубокий варочный бассейн (1,0–1,8 м) и отличаются довольно высокими капитальными затратами на их строительство, низкими технико-экономическими показателями работы (тепловой КПД, удельные съемы с 1 м² общей площади варочного бассейна). Особенно справедливым это утверждение будет применительно к печам малой и средней производительности, т. е. к печам с суточной производительностью до 70 т. Именно такие печи могут быть предложены для производства стеклобоя.

В настоящее время в стекольной отрасли образовался ощутимый дефицит стеклобоя в связи с бурным развитием стеклотарного производства. Такое положение привело к тому, что между ценой стекольной шихты и стеклобоем можно поставить знак равенства. В связи с этим обстоятельством достаточно

разумным решением является возможность организации производства стеклобоя на высокопроизводительных стекловаренных печах, обладающих пониженной материалоемкостью и достаточно высокими технико-экономическими показателями работы, и в первую очередь тепловым КПД. Всем перечисленным требованиям отвечают прямоточные стекловаренные печи.

Из табл. 2.7 видно, что все теплотехнические характеристики прямоточной печи значительно выше даже при более низкой температуре варки. Тепловой КПД прямоточной печи в два раза выше, а удельный съем с 1 м^2 общей площади в сутки больше в 1,5 раза. Кроме того, прямоточная печь имеет запас по производительности не менее 40 % (температура варки у нее на 60°C ниже). Известно, что повышение температуры варки на 10°C увеличивает удельный съем стекла с 1 м^2 в сутки на 6–8 %. Таким образом, в теплотехническом, а следовательно, и в экономическом отношении преимущество прямоточных печей неоспоримо. Кроме того, такие печи являются легкоуправляемыми, на них легче бороться с браком (мошка, свиль, пузырь). Предлагаемая для производства стеклобоя прямоточная печь схематично представлена на рис. 2.4. По принципу отопления она является регенеративной, с подковообразным направлением пламени. Расчетные характеристики предлагаемой прямоточной печи представлены в табл. 2.8. В этой же таблице приведены расчетные характеристики аналогичной по производительности печи с традиционной конструкцией варочного бассейна.

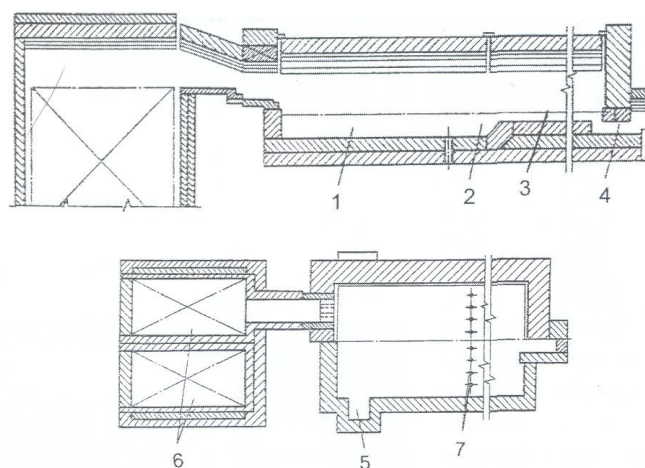


Рис. 2.4. Схема прямоточной стекловаренной печи

Рекомендуемая прямоточная печь имеет варочный бассейн, включающий зоны силикато-, стеклообразования 1, гомогенизации 2, в которых работает интенсивный барботаж сжатым воздухом, зону осветления 3, заглубленный проток 4. Стекломасса последовательно проходит через эти зоны от загрузки к выработке, попадая на выработку через заглубленный проток. Глубина варочного бассейна не превышает 400–600 мм, а глубина зоны осветления — 100–400 мм по окружности печи. Печь оснащена парой регенераторов 6, загрузка осуществляется через карманы 5, расположенные по бокам варочного бассейна.

Таблица 2.7

Сравнительная характеристика стекловаренных печей

Тип печи, производительность	Вид продукции	Темпе- ратура варки, $t, ^\circ\text{C}$	Уд. съем общей площади, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{сут.}$	Уд. расход тепла печей, $\text{ккал}/\text{кг}$	Тепло- вой КПД, %
Регенеративная, с подковообразным направлением пламени, 60 т/сут.	Бутылка из обесцвечен- ного стекла	1500	833	2930	21
Прямоточная, регенеративная с поперечным направлением пламени, 60 т/сут	Широкогор- лая тара	1440	1310	1555	40

Таблица 2.8

Сравнительная характеристика стекловаренных печей разного типа

Тип печи, производитель- ность	Вид продукции	Температура варки, $t, ^\circ\text{C}$	Уд. съем общей площади, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$	Уд. расход тепла печей, $\text{ккал}/\text{кг}$	Тепловой КПД, %	Кап. затраты на строительство, млн руб.	Расход газа в сутки, м^3
Традиционная печь, 60 т/сут.	Стеклобой	1530	1300	2480	25	26	18370
Прямоточная печь, 60 т/сут.	Стеклобой	1490	3000	1240	50	14	9185

Подобная конструкция печи положительно зарекомендовала себя при производительности 10–80 т/сут.

2.5.9. Расчет расхода тепла, необходимого для процесса стекловарения

Тепловой расчет шихты:

1 вариант – (процентное содержание шихта : стекlobой – 75 : 25);

– печь с суточной производительностью стекломассы 190 т;

– максимальная температура варки $t_{\text{т}} = 1530^{\circ}\text{C}$.

2 вариант – (процентное содержание шихта : стекlobой – 70 : 30);

– печь с суточной производительностью стекломассы 60 т;

– максимальная температура варки $t_{\text{п}} = 1490^{\circ}\text{C}$.

Температура отходящих газов $t_{\text{г}} = 500^{\circ}\text{C}$. Состав шихты на 100 кг стекломассы (в кг):

Кварцевого песка – 73,62;

Известняка – 18,81;

Кальцинированной соды – 31,04;

Сульфата – 0,88.

Итого без влаги – 124,35.

Влажность шихты – 5 % от веса, количество стекlobоя - 70 %. Состав стекломассы, мас. %: SiO_2 – 72,29; Al_2O_3 – 0,71; Fe_2O_3 – 0,07; MgO – 0,06; CaO – 10,75; Na_2O – 16,06; TiO_2 – 0,06; $\Sigma = 100,00$.

1 вариант. Определим необходимый расход тепла на варку 1 кг стекломассы. По условию количество стекlobоя составляет 25 %, т. е. для получения 1 кг готовой стекломассы в сырьевую смесь вводят стекlobоя 0,25 кг. Остальное количество стекломассы получают из шихты: $1 - 0,25 = 0,75$ кг.

Определим количество шихты в сырьевой смеси. Для получения 1 кг стекломассы требуется шихты $124,35 : 100 = 1,2435$ кг. Для получения 0,75 кг стекломассы требуется шихты:

$$x = 1, 2435 \cdot 0,75 / 1 = 0,9326 \text{ кг.}$$

Количество воды в шихте выразится:

$$0,9326 \cdot 0,05 = 0,0466 \text{ кг.}$$

Таким образом, на 1 кг стекломассы необходимо израсходовать 0,9326 кг шихты и 0,25 кг боя при содержании воды в этом количестве шихты 0,0466 кг. При варке стекломассы образуются силикаты $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$, $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$.

Определение расхода тепла на варку стекла. Расход тепла складывается из следующих статей:

- 1) тепло на варку силикатов;
- 2) тепло на испарение влаги из шихты;
- 3) тепло на плавление стеклобоя.

Расход тепла на варку силикатов. Значения удельных расходов тепла на варку силикатов при данной температуре приведены в таблице. Так как значения удельных расходов тепла приведены в ккал/кг соответствующего оксида, то при расчете эту величину умножаем на количество оксида в стекле, выраженного в кг. Расчет тепла на варку силикатов представлен в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Расход тепла на варку силикатов

Силикат	Удельный расход тепла*	Расчет	Расход тепла, ккал
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$	2403,1	$2403,1 \cdot 0,1606$	385,9
$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	1353,7	$1353,7 \cdot 0,1074$	145,4
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	638,0	$638,0 \cdot 0,0071$	4,5
Итого на 1 кг стекломассы			535,8
Итого на 0,75 кг шихты			401,9

Примечание: данные для расчета из справочного пособия [13]

Расход тепла на испарение влаги из шихты. Содержащаяся в шихте вода сначала нагревается до 100°C и после этого испаряется. Пары воды, нагревшись до 1530°C , вместе с отходящими газами отдают часть своего тепла насадкам регенераторов. Температура смеси газов при этом снижается до 500°C . Количество тепла, расходуемого на нагревание воды и пара, определяем следующим образом:

$$q = 600 \cdot \text{H}_2\text{O} = 600 \cdot 0,0466 = 28 \text{ ккал.}$$

Расход тепла на плавление стеклобоя. Теплоемкость стекла вычисляют по формуле Шарпа и Гинтера:

$$\bar{c}_p = \frac{at + c}{0,00146t + 1}.$$

Значения a и c рассчитываются:

$$a = 0,01 \Sigma a_i P_i;$$

$$c = 0,01 \Sigma c_i P_i,$$

где P_i — содержание оксида, %; a_i и c_i — из справочного пособия.

Находим:

$$a_{\text{SiO}_2} = 0,000468 \cdot 72,29 = 0,0338;$$

$$a_{\text{Na}_2\text{O}} = 0,000829 \cdot 16,06 = 0,0133;$$

$$a_{\text{CaO}} = 0,000410 \cdot 10,74 = 0,0044;$$

$$a_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0,00453 \cdot 0,71 = 0,00003;$$

$$0,01 \Sigma = 0,000516$$

$$c_{\text{SiO}_2} = 0,1657 \cdot 72,29 = 11,9785;$$

$$c_{\text{Na}_2\text{O}} = 0,2229 \cdot 16,06 = 3,5798;$$

$$c_{\text{CaO}} = 0,1709 \cdot 10,74 = 1,8355;$$

$$c_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0,1765 \cdot 0,71 = 0,1253;$$

$$0,01 \Sigma = 0,1752$$

Определяем:

$$\begin{aligned}\bar{c}_p &= 0,000516(1530 - 25) + 0,1752 / 0,00146(1530 - 25) + 1 = \\ &= 0,2977 \text{ ккал/кг} \cdot \text{град.}\end{aligned}$$

Количество тепла на плавление 0,25 кг стеклобоя составит:

$$0,2977 \cdot 0,25(1530 - 25) = 112 \text{ ккал.}$$

Итого получим расход тепла путем сложения полученных данных:

$$401,9 + 28 + 112 = 541,9 \text{ ккал.}$$

2 вариант. По условию количество стеклобоя составляет 70 %, т. е. для получения 1 кг готовой стекломассы в сырьевую смесь вводят стеклобоя 0,7 кг. Остальное количество стекломассы получают из шихты: $1 - 0,7 = 0,3$ кг.

Определим количество шихты в сырьевой смеси. Для получения 1 кг стекломассы требуется шихты $124,35 : 100 = 1,2435$ кг. Для получения 0,3 кг стекломассы требуется шихты:

$$x = 1,2435 \cdot 0,3 / 1 = 0,373 \text{ кг.}$$

Количество воды в шихте выразится:

$$0,373 \cdot 0,05 = 0,0187 \text{ кг.}$$

Таким образом, на 1 кг стекломассы необходимо израсходовать 0,373 кг шихты и 0,7 кг боя при содержании воды в этом количестве шихты 0,0187 кг. При варке стекломассы образуются силикаты $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$, $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$.

Расход тепла на варку силикатов. Из данных табл. 2.10 находим расход тепла на варку силикатов на 0,3 кг шихты, он составит 160,7 ккал.

Расход тепла на испарение влаги из шихты. Содержащаяся в шихте вода сначала нагревается до 100°C и после этого испаряется. Пары воды, нагревшись до 1490°C , вместе с отходящими газами отдают часть своего тепла насадкам регенераторов. Температура смеси газов при этом снижается

до 500 °С. Количество тепла, расходуемого на нагревание воды и пара, определяем следующим образом:

$$q = 600 \cdot H_2O = 600 \cdot 0,0466 = 28 \text{ ккал.}$$

Расход тепла на плавление стеклобоя. Теплоемкость стекла вычисляют по формуле Шарпа и Гинтера:

$$\bar{c}_p = \frac{at + c}{0,00146t + 1}.$$

Определяем:

$$\bar{c}_p = 0,000516(1490 - 25) + 0,1752 / 0,00146(1490 - 25) + 1 = 0,2966 \text{ ккал/кг·град.}$$

Количество тепла на плавление 0,7 кг стеклобоя составит:

$$0,2966 \cdot 0,7(1490 - 25) = 304,16 \text{ ккал.}$$

Итого получим расход тепла путем сложения полученных данных:

$$160,7 + 28 + 304,16 = 492,86 \text{ ккал.}$$

Сравнительные данные теплового расчета шихты для традиционной и прямоточной печей представлены в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Сводные данные теплового расчета

Наименование процессов	Расход тепла традиционной печи (на 1 кг стекломассы), ккал	Расход тепла прямоточной печи (на 1 кг стекломассы), ккал
На варку силикатов	401,9	160,7
Испарение влаги из шихты	28	28
Плавление стеклобоя	112	304,16
Итого:	541,9	492,86

Как видно из табл. 2.10, расход тепла, необходимого для процесса стекловарения, на 1 кг стекломассы в 1 варианте на 9 % больше, чем во втором. Также необходимо учитывать, что для расчета второго варианта использовали

70 % стеклобоя. Благодаря данным расчетам можно заключить, что использование стеклобоя в большем процентном соотношении, с точки зрения экономии топлива, целесообразно.

2.5.10. Технико-экономический расчет работы традиционной и прямоточной печей

1. Стоимость природного газа, по данным «Владимиррегионгаз», составляет 2,0–2,7 тыс. руб. за 1000 м³ газа. Для расчета принимаем 2,3 тыс. руб. за 1000 м³ газа.

Капитальные вложения на строительство прямоточной печи – 14 млн руб.

Кампания печи – 2 года.

Производительность печей:

– традиционной принимаем равной 190 т/сут;

– прямоточной – 60 т/сут.

2. Суточный расход газа в печи традиционной конструкции составляет

$$P_T = 190000 \cdot 541,9 / 8100 = 12711 \text{ м}^3,$$

где 541,9 ккал/кг – удельный расход тепла; 8100 ккал/кг – теплотворная способность 1 м³ природного газа.

Суточный расход газа в прямоточной печи составляет

$$P_{\Pi} = 60000 \cdot 492,86 / 8100 = 3651 \text{ м}^3,$$

где 492,86 ккал/кг – удельный расход тепла; 8100 ккал/кг – теплотворная способность 1 м³ природного газа.

Суточная экономия по статье «Расход природного газа» составляет

$$\mathcal{E}_c = P_m - P_{\Pi} = 12711 - 3651 = 9060 \text{ м}^3,$$

или в денежном выражении

$$\mathcal{E}_d = \mathcal{E}_c \cdot 2300 = 9060 \cdot 2300 = 20\,838 \text{ руб.}$$

2.5.11. Дополнительные технологические мероприятия по сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

Влажность шихты. Определенное содержание влаги в шихте препятствует ее расслоению и пылению, так как вода действует как связка благодаря появлению капиллярных сил. Выделение пыли можно регулировать с помощью увлаженной шихты или проводить увлажнение шихты в зоне разгрузки. До 4 % (по массе) воды можно добавить в шихту без дополнительной энергии на испарение. Это связано с растворением некоторых щелочей и их последующим равномерным повторным осаждением в шихту, что способствует процессу стекловарения.

Исследования, проведенные в НПО «Хрусталь», показали благоприятное влияние влажности шихты на снижение выбросов пыли и свинцовых соединений при варке стекла в промышленных условиях (см. табл. 2.11).

Таблица 2.11

Концентрация, мг/м³, загрязняющих веществ при различной влажности шихты

Точка отбора проб	Загрязняющее вещество	Фактическая влажность, %		
		2,9	4,0	5,6
Шахта горелки	Пыль	1305 ± 60	1065 ± 85	820 ± 45
Дымовой канал	Пыль, соединения свинца	175 ± 10 47 ± 3	150 ± 18 41 ± 3	112 ± 17 33 ± 2,5
Рабочее место засыпщика (пересыпка шихты из кубеля в бункер загрузки)	Пыль	14,3 ± 4,3	7,7 ± 1,3	4,2 ± 0,7

На основании проведенных исследований можно рекомендовать заводам дополнительное увлажнение шихты с 2 до 6 % для сокращения выброса загрязняющих веществ от стекловаренных печей на 15–20 %.

Пылегазоулавливающее оборудование. Для очистки от пыли аспирационного воздуха в составном цехе установлены инерционные пылеуловители — это циклоны, являющиеся самыми распространенными

аппаратами. При небольших капитальных затратах и эксплуатационных расходах они очищают аспирационный воздух от пыли с частицами размером до 10 мкм на 75–88 %. Применяются циклоны типа ЦН-15 в качестве предварительной очистки.

Для тонкой очистки пыли и в качестве второй ступени после циклонов применяются рукавные фильтры. Эффективность очистки при начальной концентрации пыли в отходящем газе до 60 г/м^3 составляет 99 %.

Конструкция рукавного фильтра показана на рис. 2.15. Корпус фильтра разделен на несколько герметических секций, в каждой из которых размещено по несколько фильтровальных рукавов. Взвешенные частицы вместе с газовым потоком поступают в нижнюю часть рукавов. Газ фильтруется через ткань, проходит в секцию и удаляется через открытый выпускной клапан. Частицы пыли в процессе фильтрации оседают на внутренней поверхности рукавов, в результате чего постепенно увеличивается гидравлическое сопротивление ткани. Когда оно достигает определенного значения, секция переводится в режим регенерации.

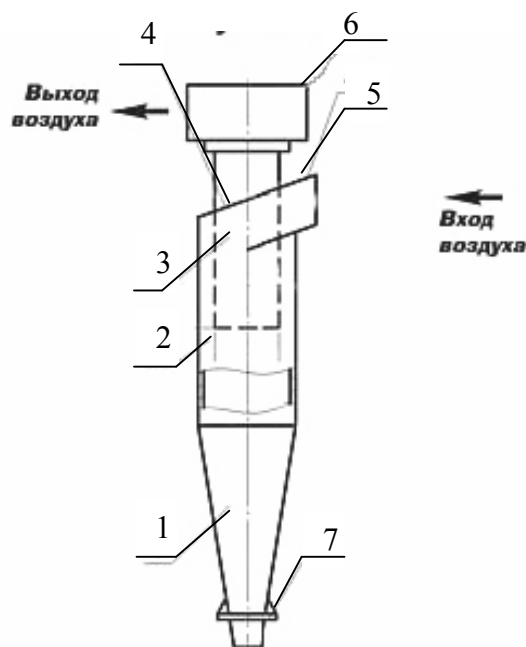


Рис. 2.5. Схема циклона ЦН-15:
1 – конус; 2 – цилиндр;
3 – выхлопная труба; 4 – винтовая крышка; 5 – входной патрубок;
6 – улитка; 7 – опорный фланец

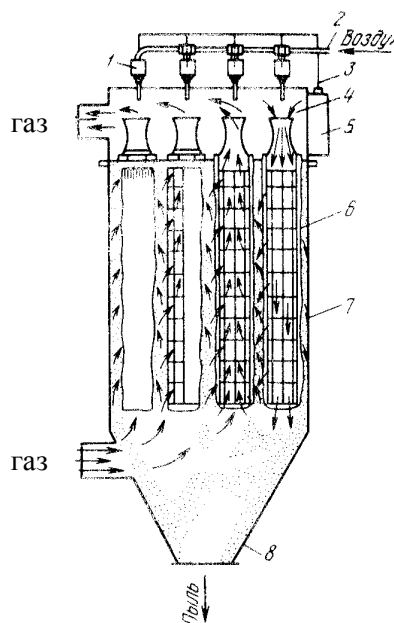


Рис. 2.6. Каркасный рукавный фильтр:
1 – соленоидный клапан; 2 – труба для сжатого воздуха; 3 – сопло; 4 – струя сжатого воздуха; 5 – прибор автоматического управления регенерацией; 6 – рукав; 7 – каркас; 8 – бункер

При регенерации обратной продувкой поток очищенного газа направляется через рукав в обратном направлении. Этот поток разрушает слой осевшей на рукаве пыли, и она сбрасывается в бункер, откуда удаляется специальным устройством для выгрузки. Запыленный продувочный газ поступает в газопровод для загрязненного газа и далее в работающие секции. Регенерация рукавов может осуществляться путем их встряхивания, посекционно.

Выводы

На основании рассмотренных материалов можно сделать вывод о том, что технология стеклотарного производства имеет ряд экологических и экономических проблем. В первую очередь, это касается составного цеха для приготовления шихты. Запыленность — одна из основных экологических проблем стекольного завода, поскольку процессы обработки и подготовки сырьевых материалов, их смешивания и транспортировки готовой шихты сопряжены с образованием большого количества пыли. С точки зрения экономики — нерациональное использование сырьевых материалов.

Для решения этих проблем на данном заводе следует организовать дополнительный цех по переработке отходов стекла с использованием прямоточной печи для варки стеклобоя, в дальнейшем технологическом процессе использовать его как основное сырье (соотношение шихта: бой — 30 : 70 %). Также рассмотрены другие виды отходов стекольного производства. Предложенные мероприятия для утилизации отходов стекла и отходов стекольного производства позволят уменьшить расход топлива, снизить выбросы в атмосферу загрязняющих веществ.

3. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

3.1. Модернизация производства стеклотары

3.1.1. Калькуляция затрат

В данной работе предложено модернизировать производство на стеклотарном заводе ОАО «Красное Эхо» за счет внедрения нового оборудования и применения стеклобоя в качестве основного сырьевого материала. Расчет затрат представлен по статьям в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Переменные затраты на стеклотарное производство

Сырьевые материалы	Стеклотара (соотношение шихты и стеклобоя 70 : 30)			Стеклотара (соотношение шихты и стеклобоя 30 : 70)			Разница
	Расход	Цена, руб	Затраты, руб	Расход	Цена, руб	Затраты, руб	
Сырьевые материалы							
Песок	58739 т/г	650	38180350	17622 т/г	650	11454300	
Сода	16458 т/г	4150	68300700	4937 т/г	4150	20488550	
Доломит	12387 т/г	730	9042510	3716 т/г	730	2712680	
Глинозем	1222 т/г	14000	17108000	367 т/г	14000	5138000	
Сульфат натрия	139 т/г	3100	430900	97 т/г	3100	300700	
Стеклобой (привозной)/ смешанный	2632 т/г	1900	5000800	41117 т/г	1000	41117000	
Итого:	137632360			81211230			56421130
Капитальные затраты							
Оборудование для подготовки стеклобоя	—			20000000			
Итого:	—			20000000			
Энергозатраты							
Электроэнергия	180000 кВт/год	1,7	306000	220000 кВт/год	1,7	374000	
Газ	5972130 м³	2,3	13735899	5552344 м³	2,3	12770391	
Итого:	14041899			13144391 руб			897508 руб

На основании табл. 3.1 можно сделать следующий вывод, что внедрение данной технологии позволит предприятию экономить на покупке сырьевых

материалов и сократить количество потребляемого топлива. Также внедрение данной технологии на стеклотарном производстве позволит возместить затраты на оборудование уже через год.

3.1.2. Расчет платежей за загрязнение атмосферного воздуха

Основную долю в загрязнение атмосферного воздуха вносят отходящие газы стекловаренных печей: оксиды азота, серы, углерода, взвешенные вещества. За счет внедрения нового оборудования и увеличения процентного содержания стеклобоя (с 30 до 70 %) в процессе стекловарения будут сокращаться выбросы в атмосферу загрязняющих веществ. Ниже приведены расчеты платежей за загрязнение атмосферного воздуха с учетом вышесказанного. Исходные данные для расчета представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Характеристика выбросов основных ЗВ стеклотарного предприятия

Загрязняющие вещества	Объем выбросов ЗВ, т/год (стеклобой 30 %)	Объем выбросов ЗВ, т/год (стеклобой 70 %)	Плата за выброс 1 т ЗВ в пределах допустимых нормативов выбросов, руб.
SO ₂	338,0613	144,8834	330
NO _x	671,9748	287,9892	415
CO	10,257	4,3958	5
Введенные тв. вещества	145,413	62,3198	110

Плата за выбросы ЗВ от стационарных источников в размерах, не превышающих установленные нормы, определяется по формуле

$$П_{на} = \sum_{(i=1 \dots n)} Z_{на}^i M_{ia}; M_{ia} \leq M_{на}^i,$$

где i — вид загрязняющего вещества ($i = 1 \dots n$); $Z_{на}^i$ — ставка платы за выброс 1 т i -го ЗВ в пределах допустимых нормативов выбросов (руб.);

M_{ia} – фактический выброс i -го ЗВ (т); $M_{на}^i$ – предельно допустимый выброс i -го ЗВ (т).

1. Расчет платы за выброс диоксида серы

$$\Pi_{на(SO_2)} = 38,0613 \cdot 330 = 111560,23 \text{ руб./год.}$$

$$\Pi_{на1(SO_2)} = 144,8834 \cdot 330 = 47811,52 \text{ руб./год.}$$

2. Расчет платы за выброс суммарного количества оксидов азота NO_x в пересчете на NO_2 :

$$\Pi_{на(NO_2)} = 671,9748 \cdot 415 \text{ руб.} = 278870,87 \text{ руб./год.}$$

$$\Pi_{на1(NO_2)} = 287,9892 \cdot 415 \text{ руб.} = 119515,52 \text{ руб./год.}$$

3. Расчет платы за выброс оксида углерода

$$\Pi_{на(CO)} = 10,257 \cdot 5 \text{ руб.} = 51,29 \text{ руб./год.}$$

$$\Pi_{на1(CO)} = 4,3958 \cdot 5 \text{ руб.} = 21,98 \text{ руб./год.}$$

4. Расчет платы за выброс введенных твердых веществ (прочие нетоксичные органические и неорганические соединения, не содержащие полициклических ароматических углеводородов, токсичных металлов, двуоксида кремния):

$$\Pi_{на(ТВ.В)} = 145,413 \cdot 110 \text{ руб.} = 15995,43 \text{ руб./год.}$$

$$\Pi_{на1(ТВ.В)} = 62,3198 \cdot 110 \text{ руб.} = 6855,18 \text{ руб./год.}$$

5. Расчет платы за общий выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух:

$$\Pi_{на(общ.)} = \Pi_{на(SO_2)} + \Pi_{на1(NO_2)} + \Pi_{на(CO)} + \Pi_{на(ТВ.В)} = 111560,23 + 278870,87 + 51,29 + 15995,43 = 406477,82 \text{ руб/год.}$$

$$\Pi_{на1(общ.)} = \Pi_{на1(SO_2)} + \Pi_{на1(NO_2)} + \Pi_{на1(CO)} + \Pi_{на1(ТВ.В)} = 47811,52 + 119515,52 + 21,98 + 6855,18 = 174204,2 \text{ руб/год.}$$

3.1.3. Годовой экономический эффект проекта

Определяем годовой экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии:

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{Z}_\delta - \mathcal{Z}_n = (E_n \cdot K_\delta + C_\delta) - (E_n \cdot K_n + C_n),$$

где K_δ – суммарные капитальные затраты; E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, равный 0,12–0,15; C_n – суммарные эксплуатационные затраты.

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_r &= 151674259 - (0,15 \cdot 20000000 + 94355621) = \\ &= 151674259 - 97355621 = 54318638 \text{ руб.}\end{aligned}$$

Выводы

В результате проведенного расчета экономический эффект данного проекта составил 54318638 руб./год. Полученная величина была достигнута благодаря уменьшению расхода сырьевых материалов за счет увеличения процентного содержания стеклобоя для процесса стекловарения, а также сокращения затрат на топливо, что в свою очередь позволило сократить выбросы загрязняющих веществ и соответственно снизить платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

3.2. Экономический расчет процесса получения гранулированного пеностекла из отходов жидкого стекла и стеклобоя

С развитием новых отраслей в строительстве и технике возникает потребность в эффективных материалах для тепловой изоляции, поэтому целесообразно производство универсальных теплоизоляционных материалов, в том числе пеностекла.

Отечественное и зарубежное производство основано на «порошковом» способе, включающем подготовку пенообразующей шихты из тонко измельченного стекла и пенообразователя и ее термообработку.

Проблема рационального использования стеклобоя всегда была актуальной. Стеклобой – это достаточно ценный материал, который содержит около 15 % щелочей. Использование стеклобоя экономит сырьевые материалы, а также решает экологическую проблему, так как стеклобой не горит, не гниет и не разлагается под действием окружающей среды.

Отходы производства жидкого стекла – это осадок, который образуется при производстве и хранении жидкого стекла в емкостях. Осадок вывозят в отвалы. Он не находит применения в отраслях, где используется жидкое стекло. Было решено использовать осадок в производстве строительных материалов, т. е. – пеностекла.

Исследования в этой области проводить необходимо, так как при производстве гранулированного пеностекла из данного сырья утилизируются два вида отходов. Гранулированное пеностекло применяют в качестве теплоизоляционного засыпного материала, в качестве заполнителя легких бетонов. Необходимость в качественных, дешевых теплоизоляционных материалах на рынке строительных материалов на данный момент существует.

3.2.1. Методика расчета экономического эффекта

Для сравнения экономического эффекта двух методов производства пеностекла необходимо знать приведенные затраты при производстве пеностекла обоими методами:

$$\mathcal{E} = ПЗ_1 - ПЗ_2 = (C_1 + K_{з1} \cdot E_n) - (C_2 + K_{з2} \cdot E_n) = \Delta C + \Delta K_z \cdot E_n,$$

где $ПЗ_1$ – приведенные затраты при традиционном способе;

$ПЗ_2$ – приведенные затраты при «новом методе»;

C_1 и C_2 – себестоимость;

K_{32} и K_{31} – капитальные затраты;

E_n – коэффициент экономической эффективности, при расчетах принимают 0,15.

Экономический расчет проводится с целью сравнения эффективности производства пеностекла, сваренного специально (традиционный способ), и пеностекла, полученного из стеклобоя (гидротермальным гранулированным способом).

Экономический эффект будет за счет перехода на более дешевое сырье и вывода из технологической стадии стекловарения, т. е. вывода стекловаренной печи (происходит уменьшение энергетических затрат на амортизацию и капитальных затрат).

Это скажется на себестоимости продукции. Расчет будет вестись по отклонениям:

$$\Delta C = \Delta Z_{\text{матер}} + \Delta Z_{\text{энер}} + \Delta A + \Delta Z_{\text{зп}}.$$

База для сравнения — пеностекло, полученное по традиционной технологии.

3.2.2. Экономический эффект относительно традиционного метода получения пеностекла

Производительность, расход материалов и затраты на них

Производительность для обоих методов 100000 м³/год или 20000 т/год. Все расчеты представлены в табл. 3.3–3.9.

Таблица 3.3

Расход материалов для традиционного способа

Основные материалы	Расход, т/год	Цена, руб./т	Затраты на материалы, руб.
Песок	12800	230	2944000
Сода	2700	1500	4050000
Остальные компоненты	2700	200	540000
Прочие материалы	30	100	30000
Итого:	—	—	7564000

Таблица 3.4

Расход материалов для нового метода

Основные материалы	Расход, т/год	Цена за 1 т, руб./т	Затраты, руб.
Стеклобой	12000	400	4800000
Отходы жидкого стекла	8000	300	2400000
Итого:	—	—	7200000

$$\Delta Z_{\text{матер}} = 7564000 - 7200000 = 364000 \text{ руб.}$$

Расчет затрат на энергетические ресурсы

$\Delta Z_{\text{энергии}}$ будут равны энергетическим затратам на варку стекла.

Таблица 3.5

Энергетические затраты

№	Энергетический параметр	Ед. измерения	Расход параметра на м ³	Цена за ед. параметра, руб.	Затраты на параметр, руб.	Затраты при производстве 10000 м ³ /год
1	Газ	м ³	66,6	0,33	22,0	2200000
	Итого:	—	—	—	—	2,2·10 ⁶ руб.

Расчет амортизационных отчислений

$$A = (\Phi_{\text{перв}} \cdot N_a)/100,$$

где $\Phi_{\text{перв}}$ – первоначальная стоимость фонда оборудования;

N_a – норма амортизации;

$N_a = 10\%$.

$$\Delta A = N_a/100 (\Phi_{\text{перв. тр. способ}} - \Phi_{\text{перв. нов.}})$$

Таблица 3.6

Расчет стоимости оборудования

Наименование оборудования	Стоимость, руб.
Стекловаренная печь	2000000
Загрузочные и выработанные устройства	700000
Итого:	2700000

$$\Phi_{\text{перв.}} = 2700000 \text{ руб.}$$

$$\Delta A = (10/100) \cdot 2700000 = 270000 \text{ руб.}$$

Расчет затрат за заработную плату

$$З_{\text{зп.}} = З_{\text{зп. трад.}} - З_{\text{зп. нов.}} = \Delta N \cdot \Delta З_{\text{зп.}}$$

$\Delta N = 12$ человек, число рабочих, обслуживающих стекловаренную печь и работающих в цехе.

$$З_{\text{пл.}} = \Delta N \cdot З_{\text{пл.}}^I,$$

где $З_{\text{пл.}}^I = 3000$ руб. (зарплата одного рабочего)

$$З_{\text{пл.}} = 12 \cdot 3000 = 36000 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{пл. нач.}} = З_{\text{пл.}} \cdot 1,38$$

$$З_{\text{пл. нач.}} = 36000 \cdot 1,38 = 49680 \text{ руб.}$$

Расчет материальных затрат по отклонениям

Таблица 3.7

Расчет материальных затрат по отклонениям

Наименование	Отклонение, руб.
Материальные затраты	364000
Энергетические затраты	2200000
Амортизационные отчисления	270000
Заработная плата	50000
Итого:	2884000

$$\Delta C = \Delta Z_{\text{мат.}} + \Delta Z_{\text{энер.}} + \Delta A + \Delta Z_{\text{зп.}}$$

$$\Delta C = 364000 + 2200000 + 270000 + 50000 = 2884000 \text{ руб.}$$

Расчет капитальных затрат

ΔK_z – разница капитальных затрат для двух методов составит стоимость составного, машинно-ванного цеха, стекловаренной печи и загрузочных устройств.

Таблица 3.8

Технологические схемы

Традиционный способ	Гидротермальный гранулированный способ
Подготовка сырья	—
Приготовление шихты	—
Варка стекла в стекловаренной печи	—
Грануляция и помол стекла	Дробление и помол стеклобоя
Составление шихты пеностекла	Приготовление шихты пеностекла
Формование	Грануляция шихты
Вспенивание	Вспенивание
Отжиг	Отжиг

Таблица 3.9

Составление капитальных затрат по отклонениям

Наименование	Руб.
Составной цех	40000
Машинно-ванный цех	700000
Стекловаренная печь	2000000
Загрузочные и выработочные устройства	700000
Итого:	3800000

$\Delta K_3 = 3800000$ руб.

Таким образом, экономический эффект составит

$$\mathcal{E} = \Delta C + \Delta K_3 \cdot E_n ;$$

$$\mathcal{E} = 2884000 + 3800000 \cdot 0,15 = 3440000 \text{ руб.}$$

Выводы

1. Свойства пеностекла, получаемого традиционным способом, и гранулированного вспененного материала из отходов практически не различаются.

2. Широко распространенные отходы листового стекла и отходы жидкого стекла при производстве его различными методами могут быть утилизированы путем организации производства вспененных гранул, могущих найти применение в качестве теплоизоляционных материалов и композитов.

3. Ориентировочно величина годового эффекта при переходе от традиционного способа производства пеностекла к гидротермальному составит 3440000 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Организация сбора и переработки стеклянного боя должна быть законодательно утверждена на государственном уровне

В различных регионах страны, а также в стране в целом необходимо увеличивать объемы заготовок и использования стеклобоя.

Необходимо интенсивно развивать селективную заготовку стеклобоя по цвету в специальные контейнеры. Дальнейшее совершенствование этой системы должно осуществляться за счет модернизации контейнеров, обработки схемы их размещения и транспортировки.

Необходимо совершенствовать способы выделения стеклобоя из твердых бытовых отходов. При этом основное внимание целесообразно уделить флотационному способу.

Необходимо осуществлять централизованно обработку селективно заготовленного стеклобоя на специализированных предприятиях, принадлежащих стекольной промышленности с целью повышения использования стеклобоя в стекловарении.

Технологические работы по использованию стеклобоя в стекловарении направить на увеличение количества стеклобоя в составе шихты до оптимального соотношения шихта : стеклобой с целью снижения расхода топлива при варке стекла.

Разработать новые направления работ по использованию стеклобоя в производстве строительных материалов типа «стеклокремнезит» и его разновидностей путем спекания в туннельных печах.

Продолжить работы по использованию стеклобоя в качестве наполнителя пластмасс, а также в качестве удобрений в сельском хозяйстве и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арбузов В.В. Экономика природопользования и природоохрана: учебное пособие / В.В. Арбузов, Д.П. Грузин, В.И. Симакин. Пенза, 2004.
2. Бабков-Эстеркин В.И. Складирование и утилизация минеральных отходов: учебное пособие / В.И. Бабков-Эстеркин, Р.Г. Мелконян М. : МГГУ, 2002. Ч. 2. 65 с.
3. Букин А.А. Тара и ее производство: учебное пособие / А.А. Букин, С.Н. Хабаров, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2006. Ч.1.
4. Демидович Б.К. Пеностекло / Б.К. Демидович. Минск : Наука и техника, 1975. 248 с.
5. Демидович Б.К. Производство и применение пеностекла / Б.К. Демидович. Минск : Наука и техника, 1972. 301 с.
6. Сбор, переработка и направления использования отходов стекла. Обзорная информация. Серия: Рациональное использование материальных ресурсов / С.В. Дуденков [и др.] М. : ЦНИИТЭИМС, 1978. 47 с.
7. Китайгородский И.И. Пеностекло / И.И. Китайгородский, Т.Н. Кешишян. М. : Промстройиздат, 1953. 80 с.
8. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности / М.В. Лыков. М. : Химия, 1970.
9. Ketov A. Peculiar Chemical and Technological Properties of Glass Cullet as the Raw Material for Foamed Insulation / A. Ketov // Recycle and Reuse of Waste Materials: International Symposium / A. Ketov. Dundee. United Kingdom. 2003. P. 695–704.
10. Кетов А.А. Опыт производства пеностеклянных материалов из стеклобоя / А.А. Кетов, И.С. Пузанов, Д.В. Саулин // Строительные материалы. 2007. №3. С. 70–72.
11. Кетов А.А. Тенденции развития технологии пеностекла / А.А. Кетов, И.С. Пузанов, Д.В. Саулин // Строительные материалы. 2007. № 9. С. 28–31.

12. Матвеев М.А. Расчеты по химии и технологии стекла: справочное пособие / М.А. Матвеев, М.Г. Матвеев, Г.М. Френкель. М. : Стройиздат, 1972.
13. Мелконян Р.Г. Теория и практика производства стеклообразных пеноматериалов / Р.Г. Мелконян, Б.И. Белецкий, Г.Р. Мелконян // Стекло мира, 2006 . № 2. С. 84–96, № 3. С. 82–97 (Журнальный вариант учебного пособия).
14. Мелконян Р.Г. Природа и общество: Экологический конфликт и пути его решений: монография / Р.Г. Мелконян; под общей ред. Р.Г. Мелконяна, А.Н. Глебова, Р.Н. Ковальской. Казань : Экоцентр, 2006. 268 с.
15. Мелконян Р.Г. Индустриальное освоение промышленных отходов стекольной промышленности / Р.Г. Мелконян, Е.А. Ельчанинов, В.М. Шек // Горный информационно-аналитический бюллетень (МГГУ). 2004. № 6. 165 с.
16. Мелконян Р.Г. Производство стеклокремнезита и художественно-монументальных панно / Р.Г. Мелконян, А.А. Корсаков // Стекло и керамика. 1982. № 10. С. 22–23.
17. Мелконян Р.Г. Опыт сбора и передачи стеклобоя за рубежом / Р.Г. Мелконян, Г.Р. Мелконян // Информационный бюллетень «Стекло и керамика». 2000. № 3 (9). С. 8–9.
18. Мелконян Р.Г. Использование отходов в производстве отделочных материалов / Р.Г. Мелконян, Г.П. Тимонина // ВНИИЭСМ. Экспресс-информация. Технология строительных материалов. 1983. Вып. 2. С. 8–11.
19. Мелконян Р.Г. Хромсодержащие отходы для производства декоративно-облицовочных материалов / Р.Г. Мелконян, Г.П. Тимонина, О.Г. Галустян // Стекло и керамика. 1986. № 1. С. 8–9.
20. Мелконян Р.Г. Второе рождение стекла / Р.Г. Мелконян // Технологии строительства. 2003 . № 6 (28). С. 52–53.
21. Мелконян Р.Г. За стеклом: как превращаются отходы в доходы / Р.Г. Мелконян // Газета «Природно-ресурсные ведомости» МПР РФ. 2002. № 28 (135) июль.

22. Мелконян Р.Г. Извлечение стеклобоя из твердых бытовых отходов / Р.Г. Мелконян // Стекло мира. 1999. № 2. С. 53.

23. Мелконян Р.Г. Извлечение стеклобоя из твердых бытовых отходов / Р.Г. Мелконян // Человек в большом городе XXI века: тезисы докладов Международного конгресса по проблемам окружающей среды и урбанизации: Управление мэра Москвы. 1998. С. 90–91, 1–4 июня.

24. Мелконян Р.Г. Использование промышленных отходов при производстве новых строительных материалов / Р.Г. Мелконян // ЦНИИТЭИСМ. Серия № 1 «Экономия и рациональное использование сырьевых топливно-энергетических и др. материальных ресурсов». 1986. Вып. 2. С. 45–49.

25. Мелконян Р.Г. Объемы и источники образования стеклобоя в Москве и Московском регионе / Р.Г. Мелконян // Информационный бюллетень «Стеклобоя». 1999. № 3. С. 5–7.

26. Мелконян Р.Г. Отходы в доходы? / Р.Г. Мелконян // Газета «Интеграция». 1999. № 12.

27. Мелконян Р.Г. Отходы производства и потребления: проблемы и пути их решения / Р.Г. Мелконян // Сб. науч. тр. Междунар. спец. выставки «Отходы — 1999: индустрия переработки и утилизации». М., 1999. С. 92–97.

28. Мелконян Р.Г. Проблемы переработки промышленных и бытовых отходов в Московском регионе и пути их решения / Р.Г. Мелконян // сб. тезисов докладов науч. конф.: решение экологических проблем г. Москвы в рамках программы «Конверсия — городу». М., 1994. С. 10–17.

29. Мелконян Р.Г. Разработка законодательных основ в области переработки обезвреживания твердых бытовых отходов в России / Р.Г. Мелконян // Тезисы докладов межотраслевой науч. конф. «Переработка и уничтожение полимерных промышленных и сельскохозяйственных отходов». Экология производства полимерных материалов. М., 1994. С. 14–18.

30. Мелконян Р.Г. Ресурсосбережение и ресурсосберегающие технологии / Р.Г. Мелконян // Химическая промышленность. 1994. № 6. С. 59–62.
31. Мелконян Р.Г. Сбор и переработка отходов стекла / Р.Г. Мелконян // Жилищное и коммунальное хозяйство. 1995. № 1. С. 35–38.
32. Мелконян Р.Г. Свет приходит через стекло / Р.Г. Мелконян // Экология России. 2000. № 3. С. 74–77.
33. Мелконян Р.Г. Стеклобой вещь крайне полезная / Р.Г. Мелконян // Экос-информ. 1995. № 2. С. 57–63.
34. Мелконян Р.Г. Стеклобой. Вторая жизнь (Сбор и переработка отходов стекла) / Р.Г. Мелконян // Стекло мира. 1997. Вып. 4. С. 57–59.
35. Мелконян Р.Г. Стеклобой: необходимо наращивать объемы утилизации / Р.Г. Мелконян // Стекло мира. № 4/98—1/99 гг. С. 23–25.
36. Мелконян Р.Г. Стекло в современной цивилизации / Р.Г. Мелконян // Газета «Природно-ресурсные ведомости» МПР РФ. 2002. № 23–24.
37. Мелконян Р.Г. Укрощение стеклянного смерча / Р.Г. Мелконян // Деловой экологический журнал. 2003. № 1. С. 59.
38. Мелконян Р.Г. Утилизация стеклобоя / Р.Г. Мелконян // Стекло мира. 1998. № 1. С. 27–28.
39. Мелконян Р.Г. Утилизация стеклобоя и промышленных отходов / Р.Г. Мелконян // Проблемы формирования и развития эколого-экономической зоны «Горный Алтай»: мат. междунар. симпозиума, г. Горно-Алтайск. 1992. С. 155–158.
40. Мелконян Р.Г. Экологические и экономические проблемы утилизации стекла / Р.Г. Мелконян // «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр»: I междунар. конференция. Москва, 16—18 сентября 2002 г. М. : Изд-во РУДН, 2002. С. 157–159.

41. Мелконян Р.Г. Экологические проблемы утилизации промышленных отходов в г. Москве / Р.Г. Мелконян // Научные аспекты экологических проблем России : тезисы докладов Всерос. конф., Москва, 13–16 июня 2001. СПб. : Гидрометеиздат, 2001. С. 252.

42. Мелконян Р.Г. Экологические проблемы утилизации промышленных отходов в г. Москве / Р.Г. Мелконян // Научные аспекты экологических проблем России : основные итоги Всерос. конф., Москва, 13–16 июня 2001 г. СПб. : Гидрометеиздат, 2001. С. 92–94.

43. Мелконян Р.Г. Аморфные горные породы и стекловарение / Р.Г. Мелконян. М. : НИИ-Природа, 2002. 264 с.

44. Чехов О.С. Вопросы экологии в стекольном производстве / О.С. Чехов, В.И. Назаров, В.Г. Калыгин. М. : Легпромбытиздат, 1990.

45. Шапилова М.В. Охрана атмосферного воздуха в стекольной промышленности / М.В. Шапилова, И.Т. Тимофеева. М. : Легпромбытиздат, 1992.

46. Шапилова М.В. Охрана труда в производстве стеклянной тары и сортовой посуды / М.В. Шапилова, Ю.А. Барышников. М. : Легпромбытиздат, 1989.

47. Щебутняев Г.Ф. Охрана труда на заводах по производству листового стекла / Г.Ф. Щебутняев, А.Н. Кривенко. М. : Стройиздат, 1982.

ГЛОССАРИЙ

АСУТП – автоматизированные системы управления

ВНИИЭСМ – Всесоюзный научно-исследовательский институт экономики строительных материалов

ГОСТ – государственный стандарт

ЗАО – закрытое акционерное общество

ЗВ – загрязняющие вещества

КПД – коэффициент полезного действия

МГГУ – Московский государственный горный университет

МНР РФ – Министерство природных ресурсов Российской Федерации

НИИ – научно-исследовательский институт

НПО – научно-производственное объединение

ОАО – открытое акционерное общество

ПАВ – поверхностно-активные вещества

РУДН – Российский университет дружбы народов

СНГ – Содружество Независимых Государств

СНиП – строительные нормы и правила

СССР – Союз Советских Социалистических Республик

США – Соединенные Штаты Америки

ТБО – твердые бытовые отходы

ТГТУ – Тамбовский государственный технический институт

ЦНИИТЭИСМ – Центральный научно-исследовательский институт технико-экономических исследований строительных материалов

Шт. – штат

Учебное издание

Власова Светлана Геннадьевна
Мелконян Рубен Гарегинovich

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕКЛОБОЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ
СТЕКЛА**

Редактор *Н. П. Кубыщенко*
Компьютерный набор *Н.С. Саетовой*
Компьютерная верстка *К. Т. Горчаковой*

Подписано в печать 09.09.2013. "Формат 92х322 1/38.
Бумага писчая. Плоская печать. Усл. печ. л. : ,28.
Уч.-изд. л. 5,63. Тираж 80 экз. Заказ № 1577.

Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5
Тел.: +7(343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41
E-mail: rio@ustu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ
620000, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: +7(343) 350-56-64, 350-90-13
Факс: +7(343) 358-93-06
E-mail: press-urfu@mail.ru